**ELECTRIFICACIÓN**

# ANEJO 13

# INDICE

# 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

La línea de alta velocidad Palencia-Santander se enmarca en el vigente Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (PITVI), que establece los ejes de la planificación estratégica en estas materias para el horizonte temporal 2012-2024.

El objeto del presente documento es analizar las posibles soluciones en el tramo Palencia-Alar del Rey/Aguilar de Campoo con un diseño adecuado al de una línea de altas prestaciones.

Existen ya una serie de Estudios y Proyectos en el ámbito del presente Estudio, si bien se destacan como principales antecedentes los desarrollados en los siguientes proyectos que se analizarán y se tendrán en cuenta para el desarrollo de las diferentes alternativas:

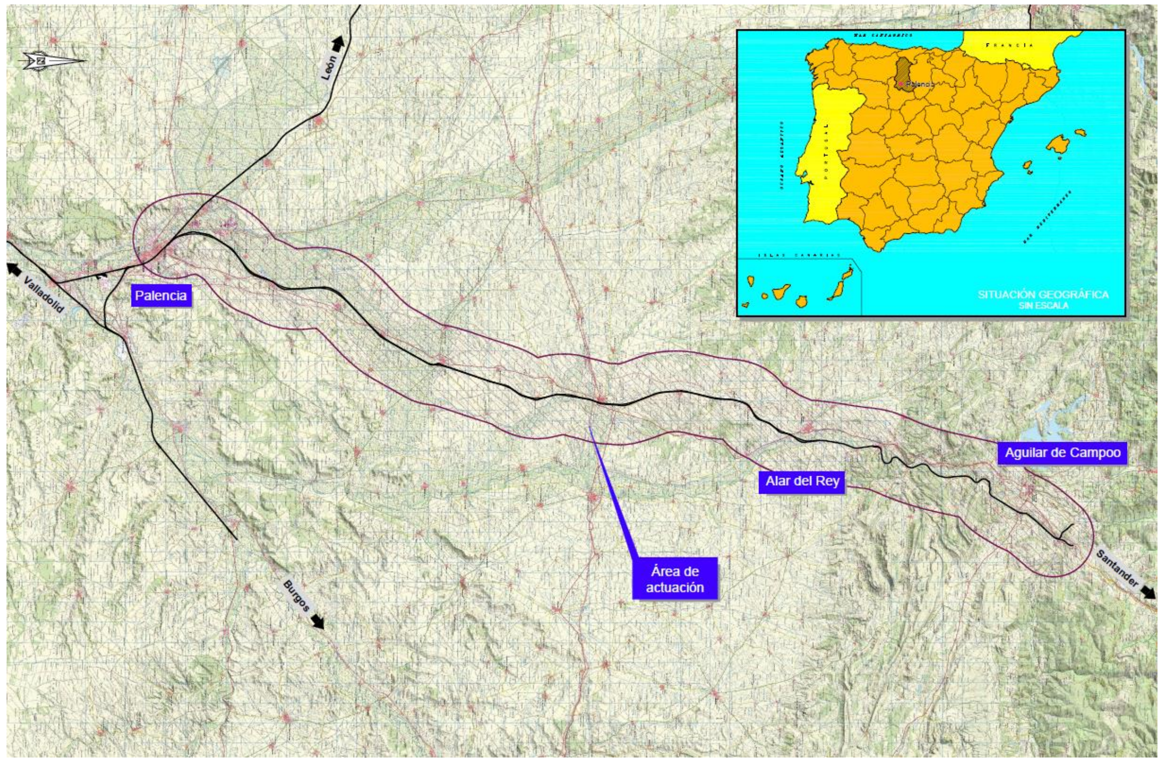
- Proyectos constructivos realizados por la Dirección General de Ferrocarriles para los tramos Palencia-Amusco, Amusco-Marcilla de Campos y Marcilla de Campos-Villaprovedo.
- Estudio Informativo del Proyecto de la Línea de Alta Velocidad Palencia-Santander. Tramo Villaprovedo-Reinosa.
- Estudio de alternativas y viabilidad de la línea ferroviaria Santander-Madrid, de la Real Academia de Ingeniería y la Universidad de Cantabria

En diciembre de 2015 se aprueba la redacción del Estudio Básico y Documentación Ambiental de la línea Palencia-Alar del Rey basándose en las propuestas de los estudios y proyectos anteriores, para la creación de una línea de ferrocarril de altas prestaciones, y es encomendado a Ineco para su desarrollo.

El Estudio Básico y Documentación Ambiental se desarrollará en dos fases:

- **Fase A 1:25.000:** Análisis de estudios anteriores, recopilación de datos básicos, análisis funcional y definición de alternativas.
- **Fase B 1:5.000:** Anteproyecto y Estudio de Impacto Ambiental.

En el presente documento se desarrolla **la segunda de las dos fases del Estudio Básico citadas anteriormente, Fase B 1:5.000**, en la que se realiza la optimización y definición con un mayor grado de detalle de las alternativas seleccionadas en la fase anterior y la redacción del Estudio de Impacto Ambiental.

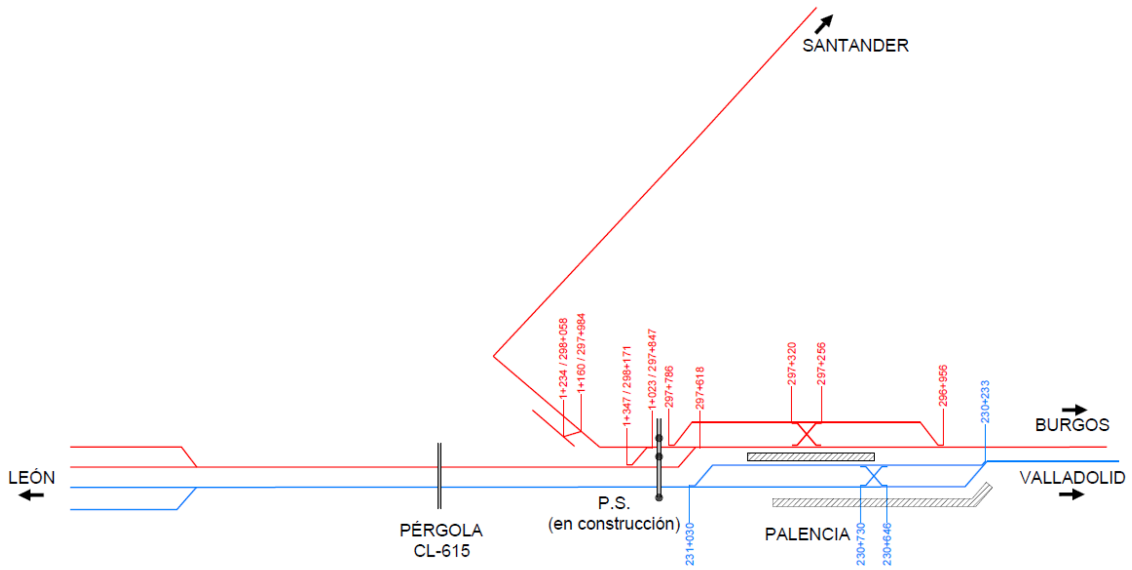


# 2. SITUACIÓN ACTUAL

La estación de Palencia se constituye como un importante nodo de tráfico ferroviario, ya que por la misma transcurren las circulaciones a toda la cornisa cantábrica a excepción del País Vasco. Del mismo modo, desde el año 2015, las circulaciones de Alta Velocidad se extienden hasta León.

Dado el carácter urbano de la actuación, se deberá encajar la salida de la nueva infraestructura manteniendo la funcionalidad de la misma y afectando lo mínimo posible al entorno urbano.

La actual configuración de la estación de Palencia cuenta en la actualidad con dos sectores diferenciados para los distintos anchos. Cabe destacar así mismo, que de la cabecera Norte parten dos corredores, uno de ellos hacia León/Asturias con sendas vías únicas para ancho UIC y para ancho convencional y el otro corredor hacia Santander para ancho convencional.




## 2.1. LÍNEAS DE ANCHO IBÉRICO

### *2.1.1. Línea Venta de Baños – Gijón*

La línea Venta de Baños – Gijón (línea 130 de la red convencional de Adif) atraviesa la ciudad en dirección suroeste a noreste. Transcurre en vía doble electrificada hasta Palencia-Arroyo de Villalobón, desde donde continúa en vía única hasta alcanzar la estación de Palencia. A partir de este punto y en sentido León discurre en vía única paralela a la vía de alta velocidad durante aproximadamente 3 km, hasta la bifurcación de Grijota. A partir de este punto pasa a vía doble hasta Torneros del Bernesga, ya en las proximidades de León, donde de nuevo discurre vía única hasta alcanzar la estación de León.

La vía está electrificada con catenaria alimentada a 3 kV c.c., tipo CA-160, normalizada por ADIF.

### *2.1.2. Línea Palencia – Santander*

La línea Palencia – Santander (línea 160 de la red convencional de Adif) parte de la estación de Palencia y se extiende más allá de la entrada en la Comunidad Autónoma de Cantabria en vía única electrificada. Existe un ramal que conecta esta línea con la que discurre hacia León.

La vía está electrificada con catenaria alimentada a 3 kV c.c., tipo CA-160, normalizada por ADIF. Recientemente tanto la estación de Palencia como el tramo ferroviario ha sido objeto de una remodelación integral dado su avanzado estado de obsolescencia.

La línea está alimentada por las siguientes subestaciones de tracción en la zona de estudio:

- Palencia: No hay subestación, pero existe una puesta en paralelo para alimentar el ramal a Santander, en el. P.K. 296+500
- Monzón de Campos: P.K. 309+300
- Frómista: P.K. 329+750
- Espinosa El Caballo: P.K. 356+780
- Mave: P.K. 385+500
- Mataporquera: 406+700

## 2.2. LÍNEAS DE ANCHO ESTÁNDAR

### *2.2.1. LAV Madrid-Valladolid-Palencia-León*

Se trata de una doble vía electrificada procedente de Valladolid. A su entrada a Palencia se queda en vía única, ya que la otra vía pasa por el cambiador de ancho de Villamuriel para permitir el paso de los trenes procedentes de Madrid destino a Santander por la línea convencional.

En el ámbito de estudio, la línea se encuentra electrificada con catenaria alimentada a 25 kV c.a., tipo C350, normalizada por ADIF.

En concreto, la alimentación se realiza desde la subestación de Becerril de Campos (111.SE), sita en el PK 238+635 de la línea, aproximadamente 8 km al norte de la estación de Palencia, siendo su colateral en sentido sur la subestación de Dueñas (104.SE), que se encuentra ubicada en el PK 210+998.

El límite de alimentación entre estas dos subestaciones lo constituye el centro de autotransformación final (ATF-111.1), que se ubica a la entrada de Palencia, después del nudo de Venta de Baños, en el PK 227+256.

Adicionalmente, a lo largo del trazado de la línea Valladolid – León, entre el (ATF-111.1) y la subestación de Becerril de Campos, se encuentra situado el centro de autotransformación intermedio (ATI-111.2) asociado a la subestación de Becerril, que se ubica en el PK 234+350.

# 3. DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS

Los condicionantes de partida que se tendrán en cuenta en el desarrollo de soluciones de alta velocidad en el tramo Palencia-Alar del Rey son los siguientes:

- Nueva vía de Alta Velocidad entre Palencia y Alar del Rey/Aguilar de Campoo.
- Velocidad de diseño de 350 km/h (se considera una velocidad de explotación de 300 km/h).
- Vía doble, excepto en las conexiones con líneas existentes en el inicio (Palencia) y final de la línea (Alar del Rey/Aguilar de Campoo).
- Ancho de vía internacional (UIC), 1.435 mm.
- Alimentación en c.a. sistema 2x25 kV.
- No se consideran paradas intermedias.
- Máximos ahorros de tiempo de viaje en el trayecto Madrid-Santander, centrándose en las actuaciones necesarias en el tramo Palencia – Aguilar de Campoo.
- Alejarse de la poblaciones en las que no está prevista parada
- Inicio y final de la actuación. Se considera como inicio del estudio la salida de la estación de Palencia. En el ámbito de Alar del Rey, se analizará el punto de conexión más adecuado entre dicha población y Aguilar de Campoo.
- Máxima funcionalidad en la Salida de Palencia.

Se considera como inicio del estudio la salida de la estación de Palencia mientras que en el ámbito de Alar del Rey, se analizará el punto de conexión más adecuado entre dicha población y Aguilar de Campoo.

En el presente documento se procede a desarrollar las alternativas seleccionadas como óptimas en las conclusiones del análisis multicriterio del Estudio de Alternativas de la Línea de Alta Velocidad Palencia Alar del Rey.

El área de estudio se ha dividido en dos ámbitos geográficos, atendiendo a los diferentes condicionantes que deben cumplirse en el diseño de cada uno de ellos:

- Ámbito de Palencia-Herrera.
- Ámbito Herrera - Aguilar de Campoo (Conexiones con la red convencional).

El *ámbito de Palencia - Herrera* comprendes desde el edificio de viajeros de la estación de Palencia hasta el PK 65+000. En este ámbito se han definido DOS alternativas:

- Alternativa Monzón-Oeste. Se desarrolla al Este de la localidad de Monzón de Campos para posteriormente discurrir al Oeste de la autopista A-67.
- Alternativa Carrión-Este. Inicialmente tiene dos cruces con el ría Carrión y posteriormente discurre al Este de la autovía A-67.

El *ámbito Herrera - Aguilar de Campoo* se corresponde con el tramo a partir del P.K. 65+000 y hasta las conexiones con la línea convencional. Los puntos de posible conexión se localizan en el entorno de las localidades de Nogales de Pisuerga, Santa María de Mave y Aguilar de Campoo dando lugar a CINCO alternativas de trazado:

- Conexión Mave Este.
- Conexión Aguilar Este.
- Conexión Mave Oeste.
- Conexión Aguilar Oeste.
- Conexión Nogales.

En el área de salida de Palencia todas las alternativas se desarrollan en vía única. En el resto del Ámbito Palencia-Herrera, una vez la nueva vía UIC se dispone de forma paralela a la vía actual en alineación recta, se desdobla la vía y se continúa en vía doble todo el recorrido por dicho ámbito. En el Ámbito Herrera-Aguilar, se lleva a cabo una transición de vía doble a vía única en el nuevo corredor, discurriendo un tramo variable según la alternativa en vía única, hasta que finalmente se produce la conexión con la línea actual mediante un cambiador de ancho.

El trazado de todas las alternativas ha sido diseñado con los mismos parámetros geométricos y funcionales de una línea de alta velocidad para 350 km/h, si bien en los tramos iniciales de salida de Palencia y final de conexión con la línea actual, el trazado se ha adaptado al entorno.

La electrificación de la línea se proyecta con el sistema 2 x 25 kV c.c., que es el habitual para las nuevas líneas de alta velocidad. Se requerirá la instalación de una nueva subestación eléctrica de tracción de 400 kV, su línea de acometida de 400 kV y una serie de centros de autotransformación a lo largo de la línea.

En cuanto a las instalaciones de señalización y comunicaciones, se dotará a la línea con un sistema de Bloqueo de Señalización Lateral (B.S.L.), sistema de gestión del tráfico ERTMS N2 con ASFA como respaldo, sistemas de comunicaciones GSMR, SDH e IP/MPLS, videovigilancia y red de distribución de energía en 750 V c.a. para suministro de energía a las instalaciones de seguridad y comunicaciones.

# 4. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN

En este apartado se recoge la descripción del sistema de electrificación propuesto para las alternativas de trazado de alta velocidad en ancho internacional analizadas en el presente estudio, que conectaría con la línea Madrid – Valladolid – Palencia – León de Alta Velocidad en Palencia. Este nuevo trazado se ha diseñado para velocidades de hasta 350 km/h. No se contemplan cruzamientos al mismo nivel con la línea 160 Palencia-Santander existente.

El nuevo tramo de vía de alta velocidad entre Palencia y Alar del Rey no dispondrá de PAET ni estaciones intermedias, si bien se situarán dos Puestos de Banalización en el tramo situado entre Palencia y la conexión con la vía convencional Palencia – Santander.

Está previsto realizar alguna rectificación de trazado para la vía actual de ancho ibérico en la salida de Palencia y en la alternativa de Conexión Nogales, por lo que habrá que llevar a cabo la reposición de las instalaciones de electrificación existentes en los tramos afectados.

El sistema de electrificación recomendado para la nueva línea de alta velocidad es el 2x25 kV c.a., con catenaria CA-350, por permitir más distancia entre subestaciones y reducir la contaminación eléctrica, especialmente sobre la línea Palencia – Reinosa – Santander, en aquellos tramos que discurra en paralelo.

## 4.1. LÍNEA AÉREA DE CONTACTO

El sistema de línea aérea de contacto tipo C-350 que se adopta se compone de las siguientes partes:

- Catenaria propiamente dicha: formada por un cable sustentador, un hilo de contacto, falso sustentador o péndola en 'Y' y péndolas equipotenciales.
- Elementos de sustentación: cimentaciones, ménsulas, postes y pórticos.
- Elementos de conexión: seccionadores, cables.
- Circuito de retorno.
- Protecciones.

**Características generales del sistema**

- Características geométricas:
  - Altura del hilo de contacto nominal: 5,3 m
  - Descentramiento del hilo de contacto:
    - Nominal: +/- 0,2 m
    - En agujas y seccionamientos: +/- 0,3m
  - Máximo desplazamiento del hilo de contacto por efecto del viento transversal: definido según el cuadro 4.2.9.2 de la ETI de Energía, y teniendo en cuenta el gálibo del pantógrafo calculado según la Instrucción técnica de gálibos.
  - Variación de la altura del hilo de contacto con respecto a la vía: 0 (cero)
  - Altura del sistema:
    - Vía general: 1,40 m
    - En seccionamiento: 1,40 m - Variable
    - En agujas: Variable hasta 2,5 m
  - Vano:
    - Máximo en vía general: 64 m
    - Máximo en túnel: 50 m
    - El vano normal entre apoyos deberá atender a:
      - Criterios de descentramiento
      - Tense radial mínimo y máximo
      - Desplazamiento lateral máximo producido por el viento
      - Obstáculos o puntos singulares (pasos superiores, desvíos, etc)
  - Variación máxima de longitud entre vanos consecutivos: 10 m
  - Longitud mínima de péndola: 0,25 m
  - Distancia de colocación de postes entre eje de vía y eje de poste:
    - Nominal: 3,35m
    - Mínima (por interferencia con canaleta): 3,15m
  - Longitud del cantón de compensación máxima: 1400 m
  - En general se procurará que la distancia entre el punto fijo y el equipo de compensación no sea superior a 640m.
  - Separación mínima de catenarias en un seccionamiento de compensación: 200 mm.
  - Separación mínima de catenarias en un seccionamiento de lámina de aire: 450 mm.
  - Con péndola en Y o falso sustentador: La péndola en Y puede eliminarse en el caso de túneles o en caso de dobles o triples ménsulas donde las distancias entre las distintas partes no permitan su montaje. Se eliminará además la péndola en Y en las zonas con tense reducido (T = 15.45 kN).
  - Número de vanos de un seccionamiento: mayor o igual que 4 (seccionamiento con un eje). En general se adopta:
    - Para vanos igual o superiores a 55m: 4 vanos.
    - Para vanos inferiores: 5 vanos.
  - Zonas neutras de separación de fases: Serán del tipo "Sección neutra larga, definida en la figura A.1.2. de la EN 50367. Se diseñaran teniendo en cuenta una longitud mínima sin tensión de 402m. Esta distancia estará medida desde los semiejes más cercanos de los seccionamientos que forman la zona neutra.
  - La compensación mecánica se realizará mediante equipos de poleas y contrapesos independientes para el sustentador e hilo de contacto, cuyas relaciones serán las siguientes:
    - Sustentador: relación 1:3
    - Hilo de contacto: relación 1:5.

- Características dinámicas:
  - Velocidad mínima de propagación de las ondas mecánicas: 550 km/ h
  - Factor Doppler: mínimo 0,17 para una velocidad de 300 km/h
  - Factor de reflexión máximo: 0,4
  - Factor de amplificación máximo: 2,3
  - Fuerza de contacto:
    - Mínima: Positiva
    - Máxima: 350 N
    - Media: según la expresión Fm = 0,00097 x V2 + 70 (N), que aparece en la ETI. En ningún caso esta fuerza debe superarse
    - Desviación típica: $F_m - 3 \cdot \sigma > 0$
    - Desviación máxima: $\sigma_{\max} = 0{,}3 F_m (N)$
  - Elevación máxima del brazo de atirantado. Se tomará el criterio de la ETI ENE (Cuadro 2.12):
    - Será 2 S0, siendo S0 la elevación máxima prevista.
    - Cuando sea posible el empleo de dispositivos de limitación de altura, esta limitación puede reducirse hasta 1,5 S0
- Condiciones ambientales de diseño: Para el diseño se tendrá en cuenta las condiciones que se indican en normativa EN 50.125 – 2.
  - Temperatura ambiente: - 30° C a + 50° C
  - Temperatura máxima de los conductores: + 80° C
  - Margen de temperatura de los equipos de regulación de tensión mecánica: - 30° C a + 80° C
  - Velocidad del viento:
    - De referencia: 29m/s
    - Variación con la altura: De acuerdo con UNE EN 50.125-2
  - Zonas climáticas: A y B
  - Humedad del aire: 20 % a 100 %
- Aislamiento eléctrico:
  - Distancia de aislamiento entre partes en tensión: La distancia entre partes en tensión y tierra es la especificada en la tabla que aparece en la norma UNE EN 50.119.

| Tensión | Distancias en el aire recomendadas | |
|---|---|---|
| | Estática | Dinámica |
| 25 kV ca | 270 mm | 150 mm |

  - Para el sistema de 2 x 25 kV con autotransformador, al existir una diferencia entre fases de 180º entre todos los elementos comunes del feeder y todos los elementos comunes a la línea de contacto aérea, las tensiones que aparecen son mayores.
  - Para sistemas convencionales de corriente alterna la diferencia de fase de 120º producirá un efecto similar entre las zonas neutras.
  - La tabla que aparece en la norma EN 50.119 indica las distancias entre partes en tensión adyacentes de diferentes fases:

| Tensión nominal | Diferencia de fases | Tensión relativa | Distancia en el aire recomendada | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Estática | Dinámica |
| 25 kV | 120 º | 43,3 kV | 400mm | 230mm |
| 25 kV | 180 º | 50 kV | 540mm | 300mm |

## 4.2. SUMINISTRO DE ENERGÍA A LA TRACCIÓN

El sistema de alimentación eléctrica a la catenaria previsto es el denominado 2x25 kV c.a., 50 Hz, el cual requiere la construcción de las correspondientes subestaciones de tracción de 400 kV, su línea aérea de acometida de 400 kV y centros de autotransformación asociados a las mismas.

El sistema de electrificación de 2x25 kV c.a. suministra energía a la tensión de 55 kV c.a. entre la línea de contacto y el feeder, y el material rodante toma energía a la tensión de 27,5 kV c.a. entre la línea de contacto y el carril, por lo que se requiere la instalación de autotransformadores de relación 55/27,5 kV c.a. a lo largo de la línea, tal y como se ha indicado.

Para albergar estos autotransformadores y su equipo auxiliar se han de construir unas instalaciones situadas en la proximidad de las vías, que serán de dos tipos según los autotransformadores se instalen próximos a las zonas neutras entre subestaciones –centros de autotransformación finales o ATF–, o a lo largo del trayecto –centros de autotransformación intermedios o ATI–.

A la subestación de tracción le corresponde un área eléctrica, que incluye los centros de autotransformación asociados a la misma y que se define como el trayecto de catenaria que en modo de funcionamiento normal, no degradado, es alimentado por dicha subestación.

La subestación dispondrá de dos transformadores de potencia monofásicos de relación 400/2x27,5 kV c.a. de 30 MVA de potencia nominal. Los centros de autotransformación, según su tipo, dispondrán de uno (ATI) o dos (ATF) autotransformadores de relación 55/27,5 kV c.a. y 10 MVA de potencia nominal.

La alimentación a la subestación de tracción se realizará desde la subestación de transporte que designe Red Eléctrica de España (REE), indicada más adelante, mediante una línea aérea de alta tensión (LAAT) constituida por dos circuitos bifásicos de conductores aéreos desnudos.

## 4.1. Dimensionamiento del sistema

De acuerdo a los resultados obtenidos del estudio de potencia realizado en la Fase A de este estudio informativo (Estudio de Alternativas), recogido en el *Apéndice 1* del *Anejo nº 9 Electrificación* del citado Estudio, para la alimentación de este tramo se dispondrá una nueva subestación eléctrica de tracción, que se ubicará en el Término Municipal de Herrera de Pisuerga, conectada a la red de transporte en la Subestación de Transporte de Herrera de Pisuerga 400 kV, propiedad de REE, mediante una línea aérea de alta tensión (LAAT) de 400 kV.

En concreto, para las diferentes alternativas de trazado existentes, la Subestación de Tracción de Herrera de Pisuerga se ubicaría en los puntos indicados a continuación:

- Subestación de Tracción Herrera Este (Conexiones Mave Este, Aguilar Este y Nogales): P.K. 68+350.
- Subestación de Tracción Herrera Oeste (Conexiones Mave Oeste y Aguilar Oeste): P.K. 68+000.

La acometida a disponer entre esta subestación y la subestación de transporte de Herrera de Pisuerga (perteneciente a REE) consistirá en una línea aérea de alta tensión a 400 kV (LAAT) que, independientemente de la alternativa de trazado en la que finalmente se ubique la subestación de tracción, discurrirá por el pasillo definido en el plano 8.2 de este estudio informativo.

En lo que a la distribución de centros de autotransformación se refiere, de nuevo partiendo del estudio de potencia realizado en la fase de estudio de alternativas de este estudio informativo, y conforme a las conclusiones recogidas en el mismo, se ha procedido en esta fase a realizar un nuevo estudio de potencia para optimizar el número y distribución de los mismos, quedando el esquema de electrificación como se recoge en el apartado 2 del Apéndice 1 del presente Anejo, en el que se evidencia la viabilidad del mismo. El escenario se muestra además en dicho apartado de forma esquemática.

Cabe resaltar que en dicho estudio se ha analizado también si, para evitar posibles afecciones a la electrificación convencional por inducción electromagnética de la nueva línea, electrificada en 2x25 kV c.a., sobre la existente, electrificada a 3 kV c.c., resulta más conveniente ubicar el único centro de autotransformación inicialmente previsto entre la subestación de Herrera de Pisuerga y el final de la línea al extremo de la misma o prever uno adicional.

La conclusión de este estudio es que, para las alternativas de mayor longitud (Conexiones Aguilar Este y Aguilar Oeste), ubicar el centro de autotransformación ATI 121.4 al extremo de la línea supone un empeoramiento apreciable de la tensión media útil en pantógrafo de las unidades circulantes. Por tanto, para dichas alternativas resulta conveniente considerar un centro de autotransformación adicional, que se denominaría ATI 121.5, al extremo de la línea.

En consecuencia, el total de centros de autotransformación considerados en este estudio informativo es el mostrado a continuación, junto a la ubicación aproximada de cada centro.

- ATI-111.2B: PK 11+250
- ATF-121.1: PK 25+000
- ATI-121.2: PK 41+125
- ATI-121.3: PK 57+250
- ATI-121.4: PK 80+000
- ATI 121.5: PK 92+500 (Únicamente para las Conexiones Aguilar Este y Aguilar Oeste y exclusivamente en el caso de que sea necesario para evitar afecciones a la electrificación de la línea convencional).

Para todos estos centros de autotransformación se proponen, en el documento de planos de este estudio informativo, ubicaciones concretas que se consideran, en principio, adecuadas atendiendo a los condicionantes ambientales existentes en estos emplazamientos y teniendo en cuenta también la orografía (situándose en terrenos con la menor inclinación posible) y las vías de comunicación existentes (para facilitar el acceso a las instalaciones) en la zona. No obstante, estas localizaciones habrán de analizarse en detalle más adelante, en fase de proyecto básico o constructivo, a fin de determinar la posición definitiva de cada centro, una vez que se disponga de una cartografía de detalle y se definan en la correspondiente Declaración de Impacto Ambiental posibles condicionantes ambientales adicionales a considerar en la ubicación de estas instalaciones.

Adicionalmente, en el estudio de potencia se ha analizado también un escenario alternativo consistente en reducir el número de centros de autotransformación a lo largo de la línea.

De los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas puede concluirse que es viable alimentar la línea mediante cualquiera de estos dos esquemas de alimentación. No obstante, el escenario alternativo es más desfavorable en lo que a la distribución de tensiones se refiere, es probable que incumpliera alguna de las condiciones de diseño ante un aumento en el número de circulaciones y no es susceptible de soportar un fallo múltiple. Por tanto, se considera que el esquema propuesto inicialmente es el más adecuado para la electrificación de la línea.

# APÉNDICE 1. ESTUDIO DE POTENCIA

# INDICE

# 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El objeto de este estudio es definir el esquema de electrificación para la alimentación en sistema 2x25 kV c.a. a las alternativas de nueva construcción propuestas en el Estudio Informativo del Proyecto de la Línea de Alta Velocidad Palencia – Alar del Rey.

Para ello se ha partido del estudio incluido en el Estudio de Alternativas (Fase A del presente Estudio Informativo) y el esquema de electrificación presentado en el mismo, que se ha reorganizado para conseguir un mejor reparto de cargas entre las subestaciones de Becerril de Campos y la futura subestación de tracción de Herrera de Pisuerga con una distribución más racional de los centros de autotransformación a lo largo de la línea.

Adicionalmente, se estudia también un posible escenario alternativo, desarrollado a partir del anterior y consistente en reducir el número de centros de autotransformación a lo largo de la línea, que si bien no es tan favorables como el primero en lo que a distribución de tensiones se refiere, si se considera que puede ser viable, además de permitir el estudio del comportamiento del esquema propuesto ante la falta de parte de sus componentes.

Finalmente, también se estudia si, para evitar posibles afecciones a la electrificación convencional por inducción electromagnética, resulta más conveniente ubicar el único centro de autotransformación previsto en principio entre la subestación de Herrera de Pisuerga y el final de la línea al extremo de la misma o prever uno adicional.

El estudio de potencia ha consistido en la simulación mediante software de la circulación de trenes, a lo largo de los tramos electrificados, considerando los datos de partida correspondientes a:

- Los parámetros cinemáticos del material rodante.
- Los parámetros eléctricos, tanto del material rodante como de las instalaciones de energía que alimentan a la línea.

Estas simulaciones se han llevado a cabo empleando los programas informáticos SIMTREN y SIMTRENAC, desarrollados por INECO, cuya fiabilidad está avalada por la gran cantidad de estudios similares realizados con éxito anteriormente.

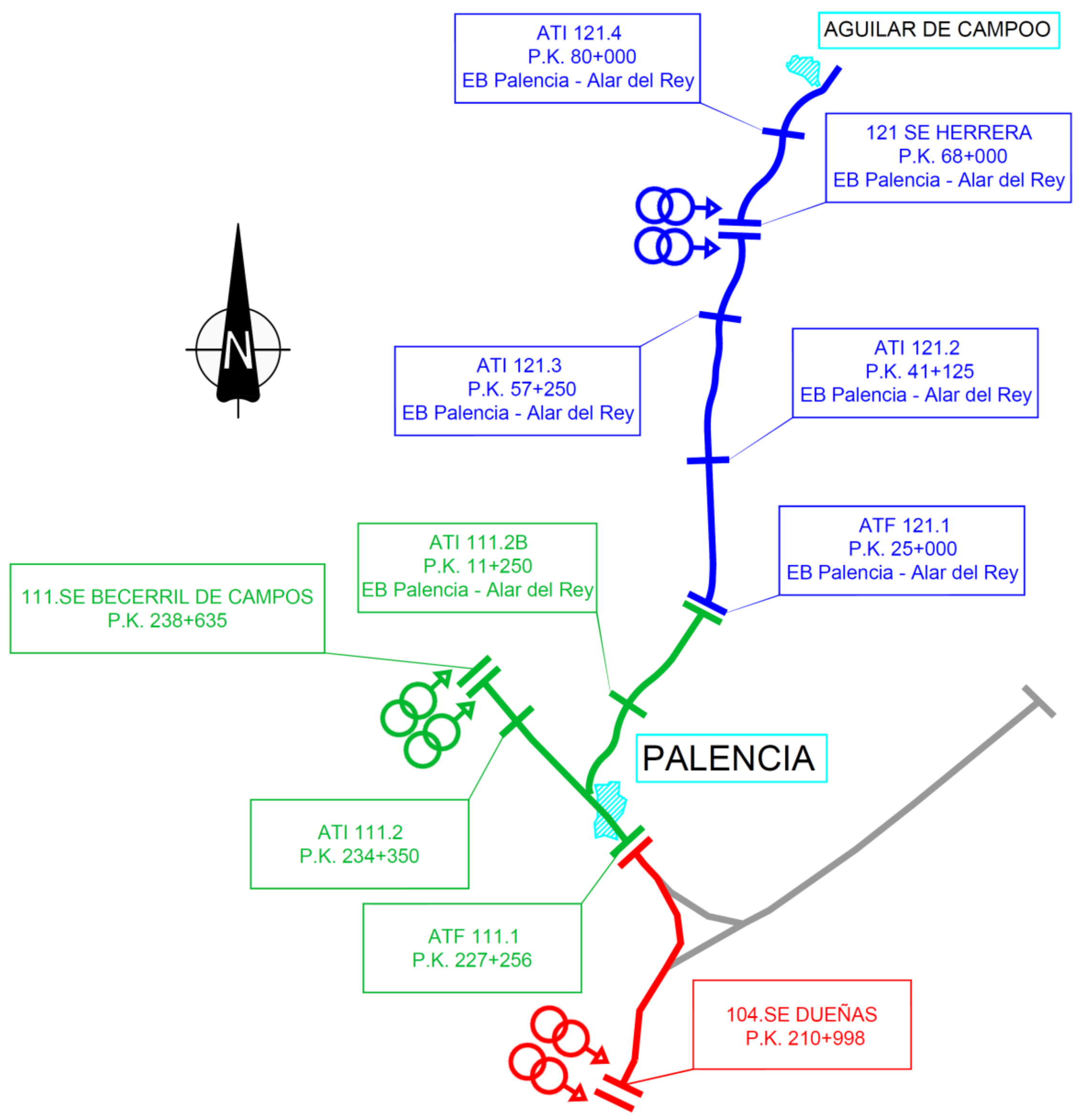
# 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN DE ELECTRIFICACIÓN

En vista de lo anteriormente expuesto, la instalación de electrificación propuesta queda tal y como se expone en la tabla a continuación y el esquema de la página siguiente.

| ÁREA ELÉCTRICA | INSTALACIÓN | LÍNEA | PK |
|---|---|---|---|
| Becerril de Campos 111.SE | ATF 111.1 | Valladolid - León | 227+256 |
| | ATI 111.2 | | 234+350 |
| | 111.SE | | 238+635 |
| | ATI 111.2B | Palencia – Alar del Rey | 11+250 |
| Herrera de Pisuerga 121.SE | ATF 121.1 | | 25+000 |
| | ATI 121.2 | | 41+125 |
| | ATI 121.3 | | 57+250 |
| | 121.SE | | 68+000 |
| | ATI 121.4 | | 80+000 |

Tanto en dicho esquema como en la tabla, ATF hace referencia a los centros de autotransformación finales, que suponen el límite entre las áreas de alimentación de dos subestaciones consecutivas, y ATI a los centros de autotransformación intermedios dispuestos a lo largo del trazado.

El esquema de la instalación de electrificación alternativa se presenta más adelante junto con los resultados obtenidos para la misma.




## 3. CONDICIONES DE DISEÑO

Las condiciones de diseño vienen definidas por las siguientes normas:

- **UNE-EN 50163:2005 CORR:2010** relativa a "Tensiones de alimentación de las Redes de Tracción". En la que se especifican las tensiones nominales y sus límites permisibles en valor y duración.
- **UNE-EN 50388:2013** relativa a los "Criterios técnicos para la coordinación entre sistemas de alimentación y material rodante".
- **UNE-EN 50329:2004/A1:2011** relativa a "Transformadores de tracción" en la que se especifican las condiciones de carga admisibles en función de la clase de servicio, siendo la clase IXB la correspondiente a los grupos del presente estudio.

Esto implica que los **parámetros principales a controlar** en las simulaciones en 2x25 kV c.a. sean los siguientes:

- Valor mínimo instantáneo de tensión en línea aérea de contacto (LAC): Umin>19.000 V.
- Valor mínimo de la tensión media útil en pantógrafo del material rodante: Ūmin>22.500V.
- Potencia demandadas de los transformadores de las subestaciones: habrán de ser inferiores a la potencia instalada

# 4. DATOS DE PARTIDA DE LAS SIMULACIONES

Los datos de partida para realizar la simulación comprenden:

- Perfil geométrico: características generales de la línea férrea: trazado (planta y alzado), puntos de arranque, parada y paso de circulaciones.
- Características del circuito eléctrico: parámetros que caracterizan las subestaciones, feeders y línea aérea de contacto.
- Características del material móvil: descripción de las composiciones que van a circular.
- Condiciones de explotación previstas.

## 4.1. PERFIL GEOMÉTRICO

A continuación se adjunta una serie de tablas en las que se detallan las paradas o puntos de paso de la línea, así como los radios de curvatura, las rampas y las limitaciones de velocidad consideradas en las simulaciones realizadas como parte del estudio.

Para un mismo punto de origen y un mismo destino, alternativas de trazado de iguales características geométricas, arrojan resultados similares en lo que al estudio de la electrificación se refiere. Por tanto, se ha optado por tomar una sola de las alternativas existentes y considerar sus resultados extrapolables al resto. En concreto, la alternativa escogida ha sido la combinación de la denominadas Carrión-Este y Conexión Aguilar Este.

Los puntos kilométricos indicados en estas tablas se refieren a la combinación de estas dos alternativas con la salvedad de que, para integrar en la simulación las instalaciones existentes en la Línea de Alta Velocidad Valladolid – León, el PK 0+000 de la alternativa y, por tanto, el de la estación de Palencia pasa a ser el 100+000.

Correspondientemente, las instalaciones existentes en la Línea de Alta Velocidad Valladolid – León estarán comprendidas entre los PP.KK. 91+850, en que se ubica la Subestación de Becerril de Campos, y el 103+245, en el que se ubica el ATF 111.1.

Con el fin de evitar confusiones, se indica explícitamente en las tablas a que línea se refiere el kilometraje o se presentan tablas separadas con el nombre de la línea claramente identificado.

### *4.1.1. Paradas y puntos de paso*

| Nº | ESTACIÓN / PUNTO DE PASO | LÍNEA | P.K. |
|---|---|---|---|
| 1 | Becerril de Campos 111.SE | LAV Valladolid – León | 91+850 |
| 2 | Palencia | | 100+000 |
| 3 | ATF 111.1 | | 103+245 |
| 4 | Palencia | LAV Palencia – Alar del Rey | 100+000 |
| 6 | Aguilar de Campoo | | 193+500 |

### *4.1.2. Rampas*

| LAV VALLADOLID – LEÓN | | | |
|---|---|---|---|
| **P.K. INICIAL** | **P.K. FINAL** | **PENDIENTE (‰)** | **LONGITUD (km)** |
| 91,00 | 93,54 | 1,00 | 2,54 |
| 93,54 | 94,36 | -9,00 | 0,82 |
| 94,36 | 95,99 | 1,00 | 1,63 |
| 95,99 | 96,90 | 4,00 | 0,91 |
| 96,90 | 98,02 | 8,00 | 1,12 |
| 98,02 | 102,02 | 0,00 | 4,00 |
| 102,02 | 102,93 | 6,00 | 0,91 |
| 102,93 | 103,27 | -2,00 | 0,33 |

| LAV PALENCIA – ALAR DEL REY | | | |
|---|---|---|---|
| **P.K. INICIAL** | **P.K. FINAL** | **PENDIENTE (‰)** | **LONGITUD (km)** |
| 100,00 | 102,50 | 0,00 | 2,50 |
| 102,50 | 102,60 | -1,30 | 0,11 |
| 102,60 | 102,98 | 0,21 | 0,38 |
| 102,98 | 103,72 | 5,00 | 0,74 |
| 103,72 | 103,96 | -5,00 | 0,24 |
| 103,96 | 105,09 | 2,00 | 1,13 |
| 105,09 | 105,93 | 22,00 | 0,84 |
| 105,93 | 106,97 | -20,00 | 1,04 |
| 106,97 | 108,10 | 6,00 | 1,14 |
| 108,10 | 108,59 | -5,00 | 0,48 |
| 108,59 | 110,40 | 2,50 | 1,81 |
| 110,40 | 111,16 | 10,00 | 0,76 |
| 111,16 | 112,50 | -2,50 | 1,34 |
| 112,50 | 113,10 | 5,00 | 0,60 |
| 113,10 | 113,92 | -2,50 | 0,82 |

| LAV PALENCIA – ALAR DEL REY | | | |
|---|---|---|---|
| **P.K. INICIAL** | **P.K. FINAL** | **PENDIENTE (‰)** | **LONGITUD (km)** |
| 113,92 | 114,99 | 5,00 | 1,07 |
| 114,99 | 115,96 | -2,00 | 0,96 |
| 115,96 | 117,82 | 18,00 | 1,87 |
| 117,82 | 123,31 | -4,00 | 5,49 |
| 123,31 | 124,12 | 3,00 | 0,81 |
| 124,12 | 124,96 | -8,00 | 0,84 |
| 124,96 | 127,10 | -0,25 | 2,15 |
| 127,10 | 127,80 | 4,50 | 0,69 |
| 127,80 | 129,37 | 2,00 | 1,57 |
| 129,37 | 130,81 | 22,50 | 1,44 |
| 130,81 | 133,58 | -2,00 | 2,77 |
| 133,58 | 134,72 | 15,00 | 1,14 |
| 134,72 | 136,33 | 2,00 | 1,61 |
| 136,33 | 137,76 | -3,50 | 1,43 |
| 137,76 | 139,51 | 20,00 | 1,75 |
| 139,51 | 141,20 | -20,00 | 1,69 |
| 141,20 | 142,62 | -5,00 | 1,42 |
| 142,62 | 143,55 | 5,00 | 0,93 |
| 143,55 | 144,92 | -5,00 | 1,37 |
| 144,92 | 146,50 | 18,00 | 1,58 |
| 146,50 | 148,11 | -12,00 | 1,62 |
| 148,11 | 149,18 | 4,00 | 1,07 |
| 149,18 | 150,21 | -2,50 | 1,03 |
| 150,21 | 151,51 | 20,00 | 1,30 |
| 151,51 | 153,51 | 2,00 | 2,00 |
| 153,51 | 155,12 | -5,00 | 1,61 |
| 155,12 | 157,49 | 4,00 | 2,38 |

| LAV PALENCIA – ALAR DEL REY | | | |
|---|---|---|---|
| **P.K. INICIAL** | **P.K. FINAL** | **PENDIENTE (‰)** | **LONGITUD (km)** |
| 157,49 | 158,92 | 8,00 | 1,43 |
| 158,92 | 160,64 | 2,00 | 1,73 |
| 160,64 | 161,68 | 8,00 | 1,04 |
| 161,68 | 162,57 | -8,00 | 0,89 |
| 162,57 | 164,89 | -2,00 | 2,32 |
| 164,89 | 166,37 | 16,00 | 1,49 |
| 166,37 | 167,90 | -20,00 | 1,53 |
| 167,90 | 169,34 | -7,00 | 1,44 |
| 169,34 | 170,59 | 16,00 | 1,24 |
| 170,59 | 172,10 | 2,00 | 1,52 |
| 172,10 | 173,36 | 8,00 | 1,26 |
| 173,36 | 174,19 | -3,00 | 0,83 |
| 174,19 | 175,34 | 12,00 | 1,15 |
| 175,34 | 176,69 | -6,00 | 1,35 |
| 176,69 | 179,76 | 17,00 | 3,07 |
| 179,76 | 183,15 | -9,00 | 3,39 |
| 183,15 | 185,64 | 6,00 | 2,49 |
| 185,64 | 189,23 | -7,00 | 3,59 |
| 189,23 | 190,31 | 14,00 | 1,09 |
| 190,31 | 191,66 | -16,00 | 1,34 |
| 191,66 | 192,07 | 12,00 | 0,41 |
| 192,07 | 192,29 | -6,00 | 0,22 |
| 192,29 | 192,91 | 0,00 | 0,62 |
| 192,91 | 193,31 | 3,00 | 0,39 |
| 193,31 | 193,50 | -3,20 | 0,19 |

### *4.1.3. Curvas*

| LAV VALLADOLID - LEÓN | | | |
|---|---|---|---|
| **P.K. INICIAL** | **P.K. FINAL** | **RADIO (m)** | **LONGITUD (km)** |
| 91,00 | 91,90 | -15000 | 0,90 |
| 91,90 | 93,29 | 0 | 1,39 |
| 93,29 | 94,00 | 10000 | 0,71 |
| 94,00 | 95,93 | 12000 | 1,93 |
| 95,93 | 98,02 | 0 | 2,09 |
| 98,02 | 102,02 | 0 | 4,00 |
| 102,02 | 102,40 | 0 | 0,38 |
| 102,40 | 103,27 | -2500 | 0,86 |

| LAV PALENCIA – ALAR DEL REY | | | |
|---|---|---|---|
| **P.K. INICIAL** | **P.K. INICIAL** | **P.K. INICIAL** | **P.K. INICIAL** |
| 100,00 | 101,15 | 0 | 1,15 |
| 101,15 | 102,50 | 1800 | 1,35 |
| 102,50 | 102,68 | 0 | 0,18 |
| 102,68 | 102,96 | 0 | 0,28 |
| 102,96 | 105,60 | 5000 | 2,64 |
| 105,60 | 105,88 | 0 | 0,28 |
| 105,88 | 106,29 | 0 | 0,41 |
| 106,29 | 109,30 | -6000 | 3,01 |
| 109,30 | 109,71 | 0 | 0,41 |
| 109,71 | 110,21 | 0 | 0,50 |
| 110,21 | 116,50 | 9000 | 6,29 |
| 116,50 | 117,00 | 0 | 0,50 |
| 117,00 | 117,19 | 0 | 0,19 |
| 117,19 | 122,29 | -14000 | 5,10 |
| 122,29 | 122,48 | 0 | 0,19 |

| LAV PALENCIA – ALAR DEL REY | | | |
|---|---|---|---|
| **P.K. INICIAL** | **P.K. INICIAL** | **P.K. INICIAL** | **P.K. INICIAL** |
| 122,48 | 126,34 | 0 | 3,86 |
| 126,34 | 126,84 | 0 | 0,50 |
| 126,84 | 130,61 | -8000 | 3,77 |
| 130,61 | 131,11 | 0 | 0,50 |
| 131,11 | 132,09 | 0 | 0,98 |
| 132,09 | 132,39 | 0 | 0,30 |
| 132,39 | 132,89 | -10000 | 0,50 |
| 132,89 | 133,19 | 0 | 0,30 |
| 133,19 | 137,02 | 0 | 3,83 |
| 137,02 | 137,52 | 0 | 0,50 |
| 137,52 | 138,11 | -8000 | 0,59 |
| 138,11 | 138,61 | 0 | 0,50 |
| 138,61 | 139,11 | 0 | 0,50 |
| 139,11 | 139,67 | 8000 | 0,56 |
| 139,67 | 140,17 | 0 | 0,50 |
| 140,17 | 147,01 | 0 | 6,84 |
| 147,01 | 147,18 | 0 | 0,17 |
| 147,18 | 150,84 | 15000 | 3,66 |
| 150,84 | 151,34 | 0 | 0,50 |
| 151,34 | 151,62 | 8000 | 0,28 |
| 151,62 | 152,12 | 0 | 0,50 |
| 152,12 | 152,62 | 0 | 0,50 |
| 152,62 | 154,44 | -8000 | 1,81 |
| 154,44 | 154,94 | 0 | 0,50 |
| 154,94 | 155,44 | 0 | 0,50 |
| 155,44 | 155,96 | 8000 | 0,53 |
| 155,96 | 156,46 | 0 | 0,50 |

| LAV PALENCIA – ALAR DEL REY | | | |
|---|---|---|---|
| P.K. INICIAL | P.K. INICIAL | P.K. INICIAL | P.K. INICIAL |
| 156,46 | 156,96 | 0 | 0,50 |
| 156,96 | 158,27 | -8000 | 1,31 |
| 158,27 | 158,77 | 0 | 0,50 |
| 158,77 | 159,27 | 0 | 0,50 |
| 159,27 | 162,22 | 8000 | 2,95 |
| 162,22 | 162,72 | 0 | 0,50 |
| 162,72 | 163,78 | 0 | 1,06 |
| 163,78 | 164,28 | 0 | 0,50 |
| 164,28 | 165,07 | 8000 | 0,79 |
| 165,07 | 165,57 | 0 | 0,50 |
| 165,57 | 166,07 | 0 | 0,50 |
| 166,07 | 170,67 | -7500 | 4,61 |
| 170,67 | 171,17 | 0 | 0,50 |
| 171,17 | 171,67 | 0 | 0,50 |
| 171,67 | 177,85 | 6500 | 6,17 |
| 177,85 | 178,35 | 0 | 0,50 |
| 178,35 | 178,85 | 0 | 0,50 |
| 178,85 | 183,94 | -6500 | 5,10 |
| 183,94 | 184,44 | 0 | 0,50 |
| 184,44 | 184,85 | 0 | 0,41 |
| 184,85 | 191,35 | 5115 | 6,50 |
| 191,35 | 191,76 | 0 | 0,41 |
| 191,76 | 191,94 | 0 | 0,18 |
| 191,94 | 192,17 | -500 | 0,23 |
| 192,17 | 192,35 | 0 | 0,18 |
| 192,35 | 192,59 | 0 | 0,24 |
| 192,59 | 192,62 | 0 | 0,03 |

| LAV PALENCIA – ALAR DEL REY | | | |
|---|---|---|---|
| P.K. INICIAL | P.K. INICIAL | P.K. INICIAL | P.K. INICIAL |
| 192,62 | 192,64 | 800 | 0,03 |
| 192,64 | 192,67 | 0 | 0,03 |
| 192,67 | 192,69 | 0 | 0,03 |
| 192,69 | 192,72 | -800 | 0,03 |
| 192,72 | 192,74 | 0 | 0,03 |
| 192,74 | 193,23 | 0 | 0,48 |
| 193,23 | 193,27 | 0 | 0,04 |
| 193,27 | 193,30 | -1000 | 0,03 |
| 193,30 | 193,34 | 0 | 0,04 |
| 193,34 | 193,50 | 0 | 0,16 |

### *4.1.4. Túneles*

| LAV PALENCIA – ALAR DEL REY | | |
|---|---|---|
| P.K. INICIAL | P.K. FINAL | LONGITUD (km) |
| 179,85 | 181,5 | 1,65 |
| 182,09 | 182,44 | 0,34 |
| 182,89 | 183,03 | 0,14 |
| 183,25 | 183,33 | 0,08 |
| 183,6 | 183,88 | 0,28 |
| 185,16 | 185,69 | 0,53 |
| 187,26 | 188,88 | 1,63 |

### *4.1.5. Limitaciones de velocidad*

| LAV VALLADOLID - LEÓN | | | |
|---|---|---|---|
| P.K. INICIAL | P.K. FINAL | LONGITUD (km) | V MÁX. (km/h) |
| 91,00 | 103,27 | 12,27 | 350,00 |

| LAV PALENCIA – ALAR DEL REY | | | |
|---|---|---|---|
| **P.K. INICIAL** | **P.K. FINAL** | **LONGITUD (km)** | **V MÁX. (km/h)** |
| 100,00 | 193,50 | 93,50 | 350,00 |

## 4.2. MATERIAL MÓVIL

### *4.2.1. Circulaciones*

De acuerdo a la prognosis de tráficos considerada en el Estudio Informativo de la línea Palencia – Alar del Rey, se espera que las circulaciones de larga distancia por esta línea lleguen a los 7 trenes por sentido y día entre Madrid y Santander. En concreto, se consideran las circulaciones recogidas en la tabla siguiente.

| Nº. TREN | ORIGEN | DESTINO | Hora paso Palencia | COMPOSICIÓN | PERIODO HORARIO (al paso por Palencia) |
|---|---|---|---|---|---|
| 4001 | MADRID | SANTANDER | 7:38 | Serie 130 (Autopropulsado M -11 R - M) | Día (7:00-19:00) |
| 4002 | SANTANDER | MADRID | 9:22 | Serie 130 (Autopropulsado M -11 R - M) | Día (7:00-19:00) |
| 4003 | MADRID | SANTANDER | 9:23 | Serie 130 (Autopropulsado M -11 R - M) | Día (7:00-19:00) |
| 4004 | SANTANDER | MADRID | 11:07 | Serie 130 (Autopropulsado M -11 R - M) | Día (7:00-19:00) |
| 4005 | MADRID | SANTANDER | 12:23 | Serie 130 (Autopropulsado M -11 R - M) | Día (7:00-19:00) |
| 4006 | SANTANDER | MADRID | 14:07 | Serie 130 (Autopropulsado M -11 R - M) | Día (7:00-19:00) |
| 4007 | MADRID | SANTANDER | 15:23 | Serie 130 (Autopropulsado M -11 R - M) | Día (7:00-19:00) |
| 4008 | SANTANDER | MADRID | 17:07 | Serie 130 (Autopropulsado M -11 R - M) | Día (7:00-19:00) |
| 4009 | MADRID | SANTANDER | 17:08 | Serie 130 (Autopropulsado M -11 R - M) | Día (7:00-19:00) |
| 4010 | SANTANDER | MADRID | 18:52 | Serie 130 (Autopropulsado M -11 R - M) | Día (7:00-19:00) |
| 4011 | MADRID | SANTANDER | 18:53 | Serie 130 (Autopropulsado M -11 R - M) | Día (7:00-19:00) |
| 4012 | SANTANDER | MADRID | 20:37 | Serie 130 (Autopropulsado M -11 R - M) | Tarde (19:00-23:00) |
| 4013 | MADRID | SANTANDER | 20:38 | Serie 130 (Autopropulsado M -11 R - M) | Tarde (19:00-23:00) |
| 4014 | SANTANDER | MADRID | 22:22 | Serie 130 (Autopropulsado M -11 R - M) | Tarde (19:00-23:00) |

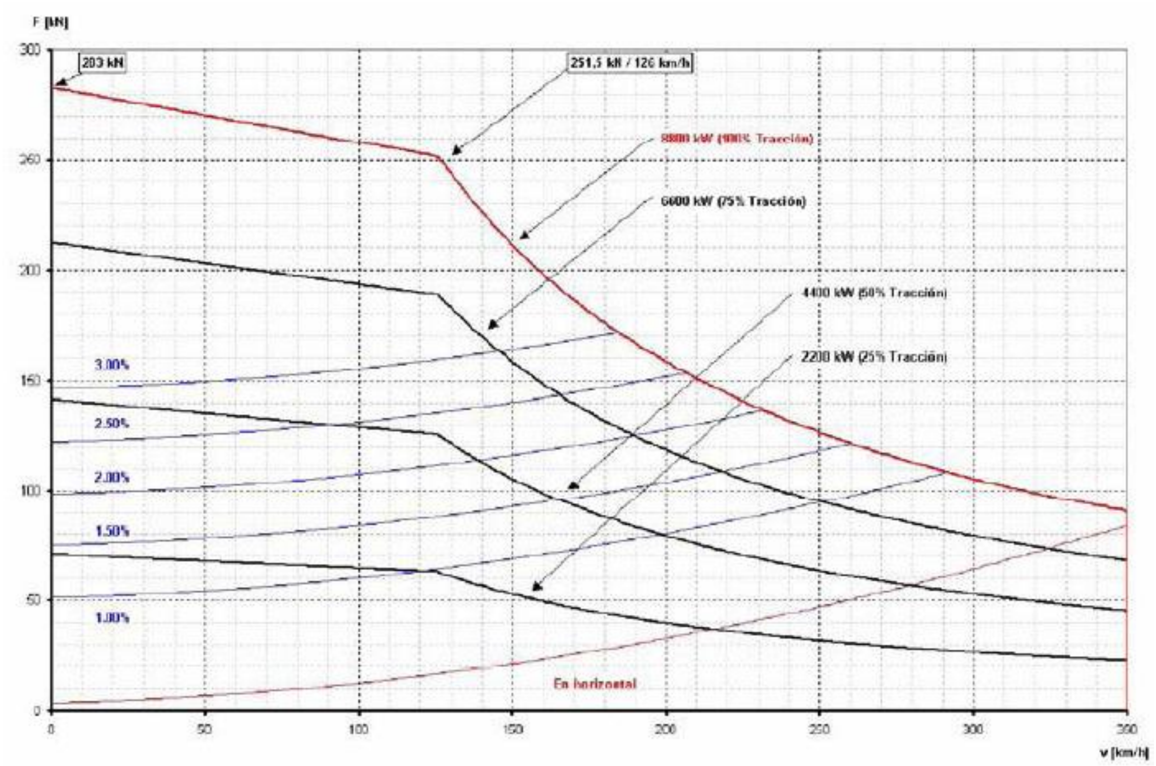
Por otro lado, en vista de la frecuencia de paso de las circulaciones comerciales actualmente existentes en la Línea de Alta Velocidad Valladolid – León, se ha optado por considerar para esta, del lado de la seguridad, un total de una circulación por hora y sentido.

### *4.2.2. Características del material rodante*

Como material rodante para esta comprobación se han considerado las unidades de la serie S103 de Renfe, por ser las de mayor potencia de las circulantes por la red y, en consecuencia, aquellas para las que las caídas de tensión en catenaria son más acusadas.

La tabla de la página siguiente resume las principales características del material móvil utilizado. Más adelante se muestra la curva de esfuerzo tractor – velocidad de la serie S 103.

| CARACTERÍSTICAS | S 103 |
|---|---|
| Longitud (m) | 200 |
| P aux (kW) | 800 |
| Tara (t) | 465 |
| Peso en Freno (%) | 100 |
| Resistencia al avance | |
| Coeficiente A (kp) | 356,770 |
| Coeficiente B [kp/(m/s)] | 12,034.8 |
| Coeficiente C [kp/(m/s)$^2$] | 701.52 |
| Pot. en llanta por unidad (kW) | 8,800 |
| Velocidad máxima (km/h) | 350 |
| Aceleración máxima (m/s²) | 1.2 |



### 4.3. PERFIL ELÉCTRICO

El sistema de electrificación considerado en las simulaciones para el sistema 2x25 kV c.a. incluye las subestaciones de tracción de Becerril de Campos y Herrera de Pisuerga, diversos centros de autotransformación y línea aérea de contacto C-350.

La Subestación de Becerril de Campos está equipada con dos transformadores de tracción de 30 MVA, relación de transformación 400/2x27.5 kV y clase de potencia IX B; de estos, el grupo 1, el más cercano a Madrid, es el que alimentará hacia Alar del Rey. Se considera la Subestación de Herrera de Pisuerga equipada del mismo modo.

Los autotransformadores de los centros de autotransformación son de 10 MVA y relación de transformación 50/2x25 kV.

La configuración de la línea aérea de contacto C-350 es la siguiente:

- Hilo de Contacto: 150 mm² Cu - Mg 0.5.
- Hilo Sustentador: 95 mm² Cu.
- Cable de Retorno: LA110.
- Feeder Negativo: LA280.
- Carril: UIC60.

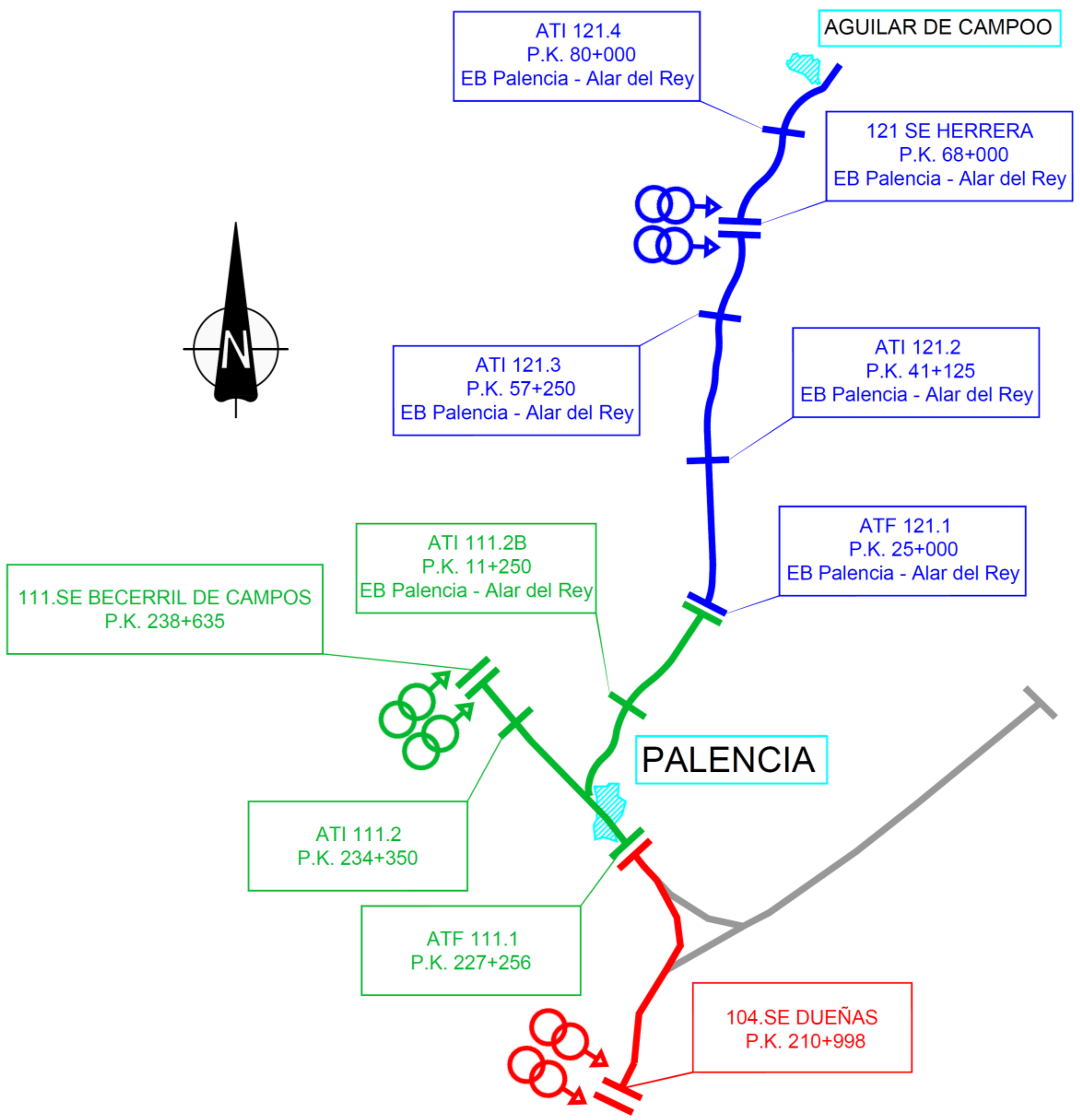
## 5. SIMULACIONES REALIZADAS

Se presentan en esta sección los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas, para los parámetros de diseño citados en el apartado 3. Condiciones de Diseño de este documento.

Se presentan en primer lugar los obtenidos para el escenario de electrificación propuesto y a continuación, en apartados diferenciados, los obtenidos para el escenario alternativo anteriormente comentado.

### 5.1. ESCENARIO PROPUESTO

Se estudia en este caso el esquema de alimentación que se propone emplear para la alimentación de la línea Palencia – Alar del Rey, es decir el mismo expuesto en el apartado 2. Descripción general de la instalación de electrificación y mostrado, de nuevo, en la gráfica a continuación.

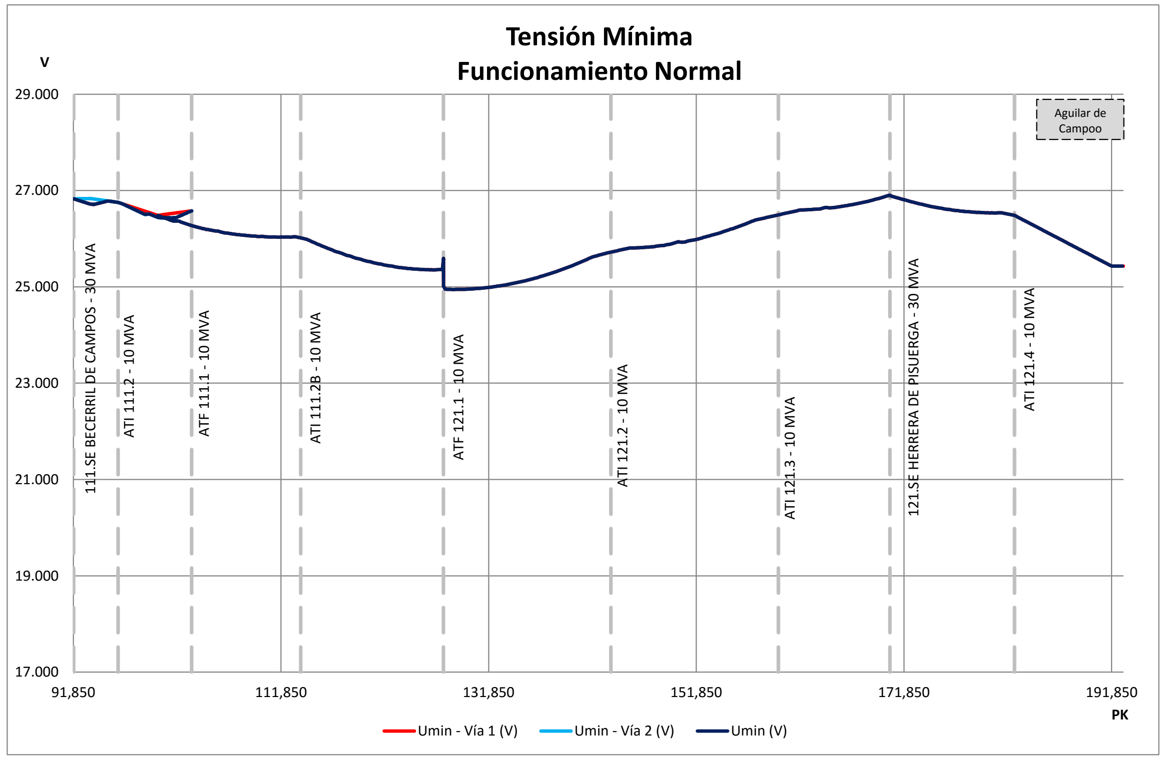


### *5.1.1. Funcionamiento Normal*

En primer lugar se muestran los resultados obtenidos para la situación en la que la totalidad de las instalaciones consideradas está en servicio. Es decir, la línea se alimenta desde las subestaciones de Becerril de Campos y Herrera de Pisuerga

#### 5.1.1.1. Tensión en catenaria

El gráfico siguiente muestra los valores mínimos de tensión en catenaria a lo largo del trayecto entre Becerril de Campos y Aguilar de Campoo con las circulaciones estudiadas.



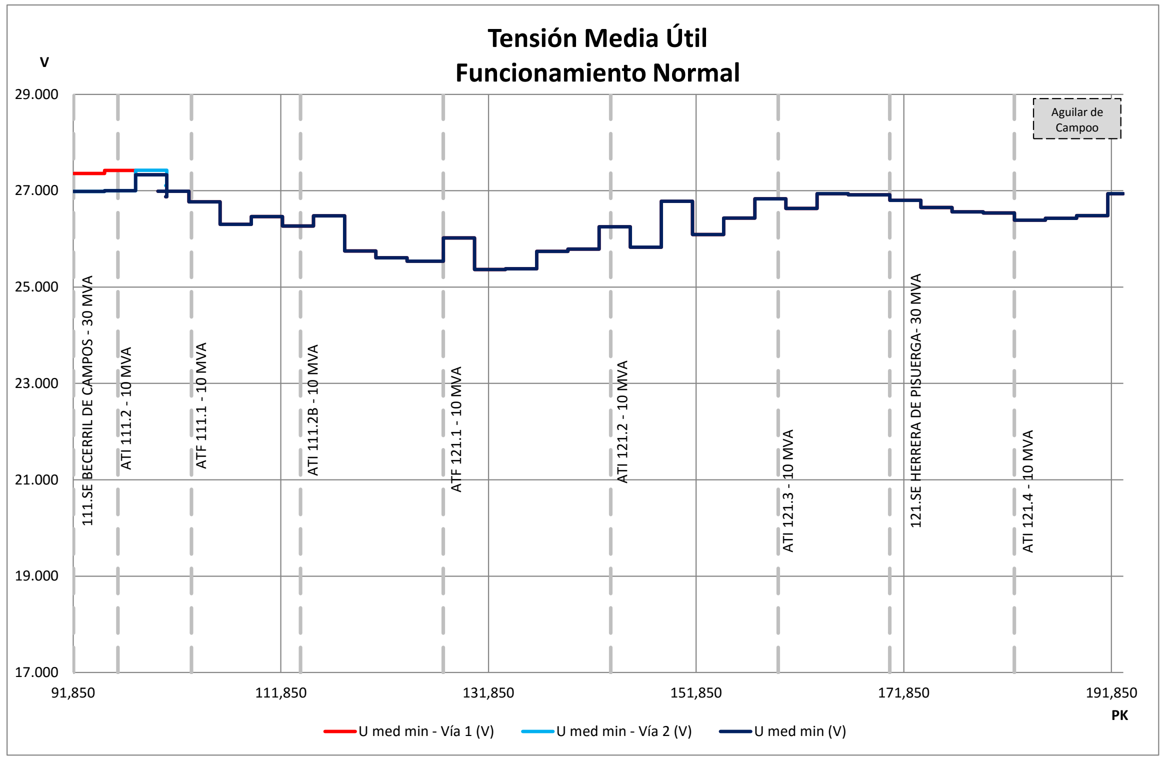

De acuerdo al mismo, la mínima tensión instantánea en catenaria se da en el entorno del ATF 121.1, que supone el límite entre el área eléctrica de la Subestación de Becerril y la de Herrera de Pisuerga, y tiene un valor de 24,945 kV.

Esto supone que, como la tensión en catenaria no cae por debajo de 19 kV, las unidades consideradas pueden completar el trayecto entre Becerril de Campos y Aguilar de Campoo. Sin embargo, para confirmar que además pueden hacerlo sin perder capacidad de tracción debe estudiarse, en el punto siguiente, la tensión media útil en pantógrafo.

#### 5.1.1.2. Tensión media útil

La gráfica recogida en la siguiente columna muestra de forma detallada los resultados obtenidos para la tensión media útil en pantógrafo en el trayecto entre Becerril de Campos y Aguilar de Campoo.

Como puede observarse en la misma, los valores de tensión media útil se mantienen en todo momento muy por encima de los 22,5 kV mínimos necesarios para que las unidades circulantes mantengan su capacidad de tracción. En concreto, el mínimo alcanzado es de 25,364 kV.

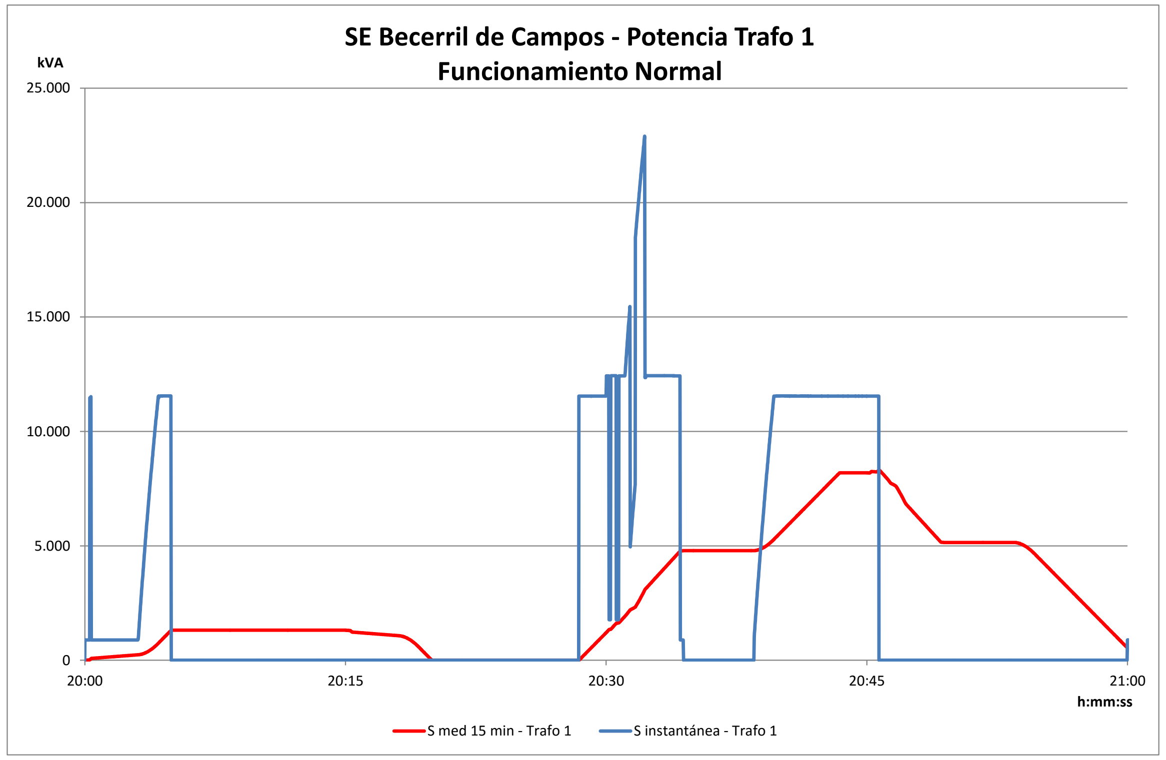


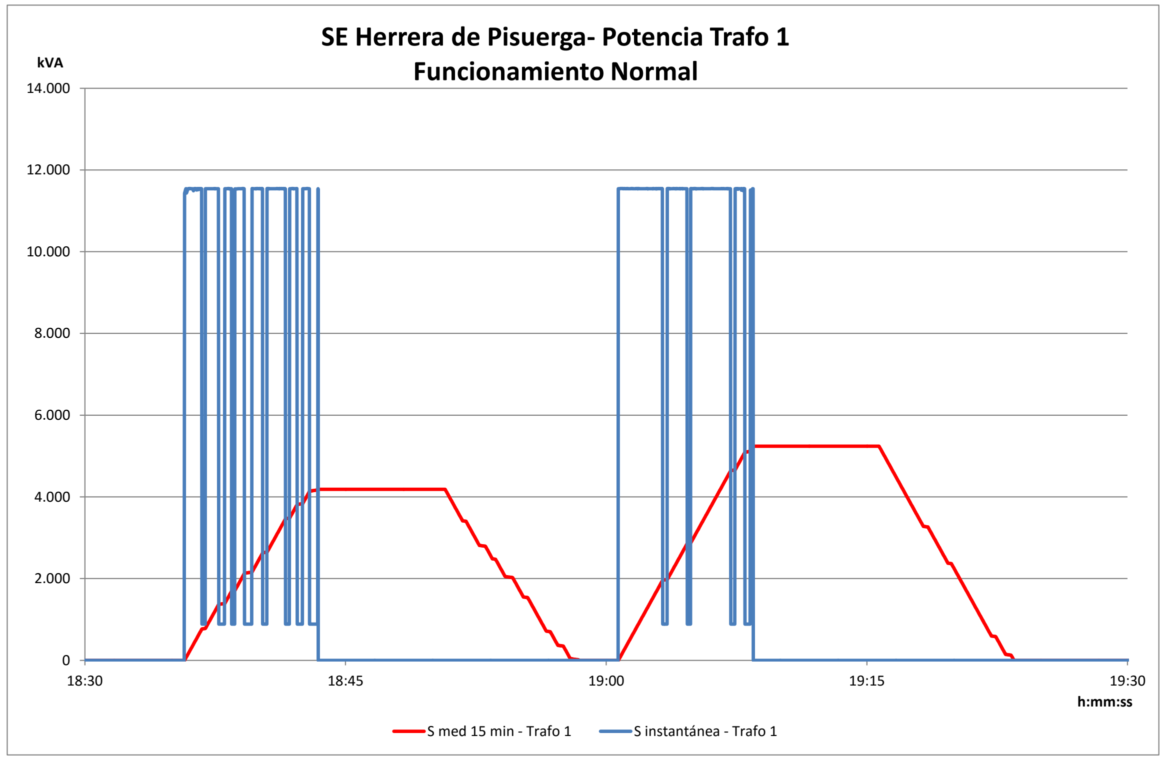

#### 5.1.1.3. Potencia demandada

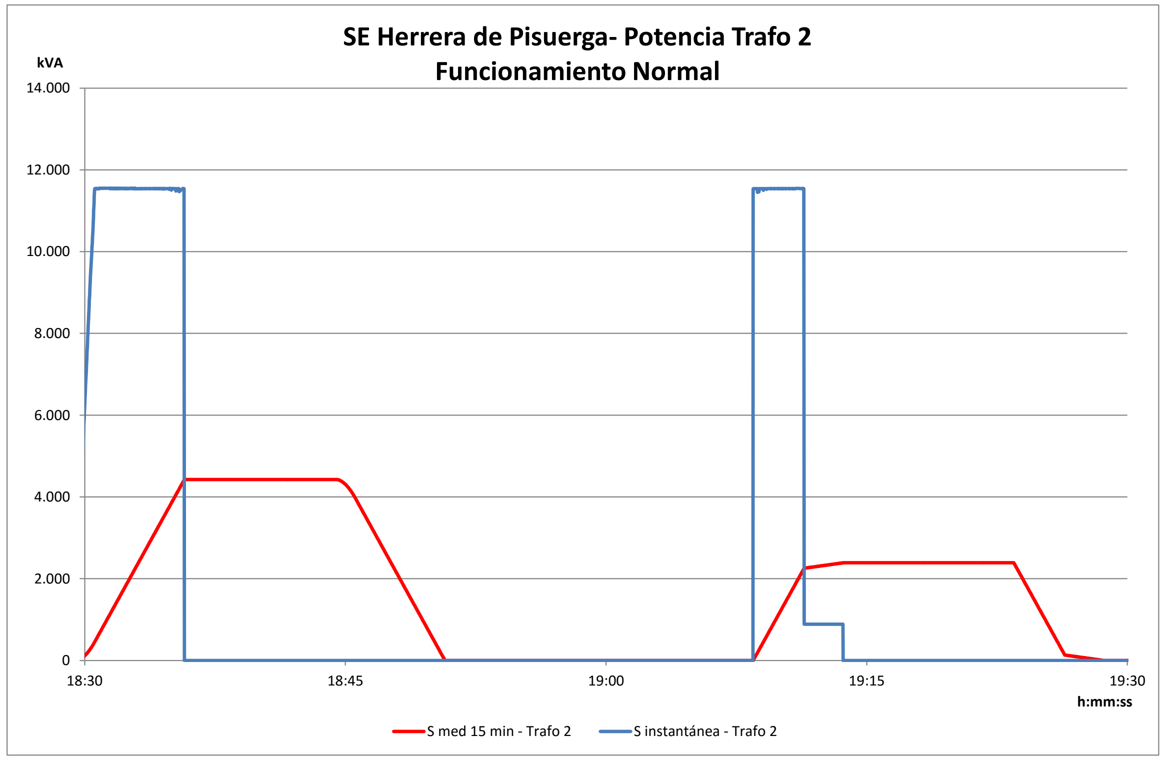
La siguiente tabla resume las potencias medias máximas demandadas de los transformadores de tracción de las subestaciones y los autotransformadores de los centros de autotransformación.

| | | POT MEDIA 15 MIN (kVA) | POTENCIA INSTALADA (kVA) |
|---|---|---|---|
| **Becerril de Campos 111.SE** | Trafo 1 | 8.305 | 30.000 |
| **ATI 111.2** | - | 3.658 | 10.000 |
| **ATF 111.1** | - | 3.586 | 10.000 |
| **ATI 111.2B** | - | 2.930 | |
| **ATF 121.1** | Autotrafo 1 | 1.118 | 10.000 |
| | Autotrafo 2 | 987 | 10.000 |
| **ATI 121.2** | - | 1.584 | 10.000 |
| **ATI 121.3** | - | 1.631 | 10.000 |
| **Herrera de Pisuerga 121.SE** | Trafo 1 | 5.241 | 30.000 |
| | Trafo 2 | 4.425 | 30.000 |
| **ATI 121.4** | - | 3.155 | 10.000 |

A continuación se muestran las gráficas de potencia integrada a 15 minutos demandada del transformador de tracción nº 1 de la subestación de Becerril de Campos y los dos transformadores de la subestación de Herrera de Pisuerga.




Como puede verse en las mismas, ni la demanda instantánea ni la integrada a 15 minutos, que es la realmente representativa, superan la potencia instalada. Por tanto, se considera que es suficiente la instalación de grupos de 30 MVA.

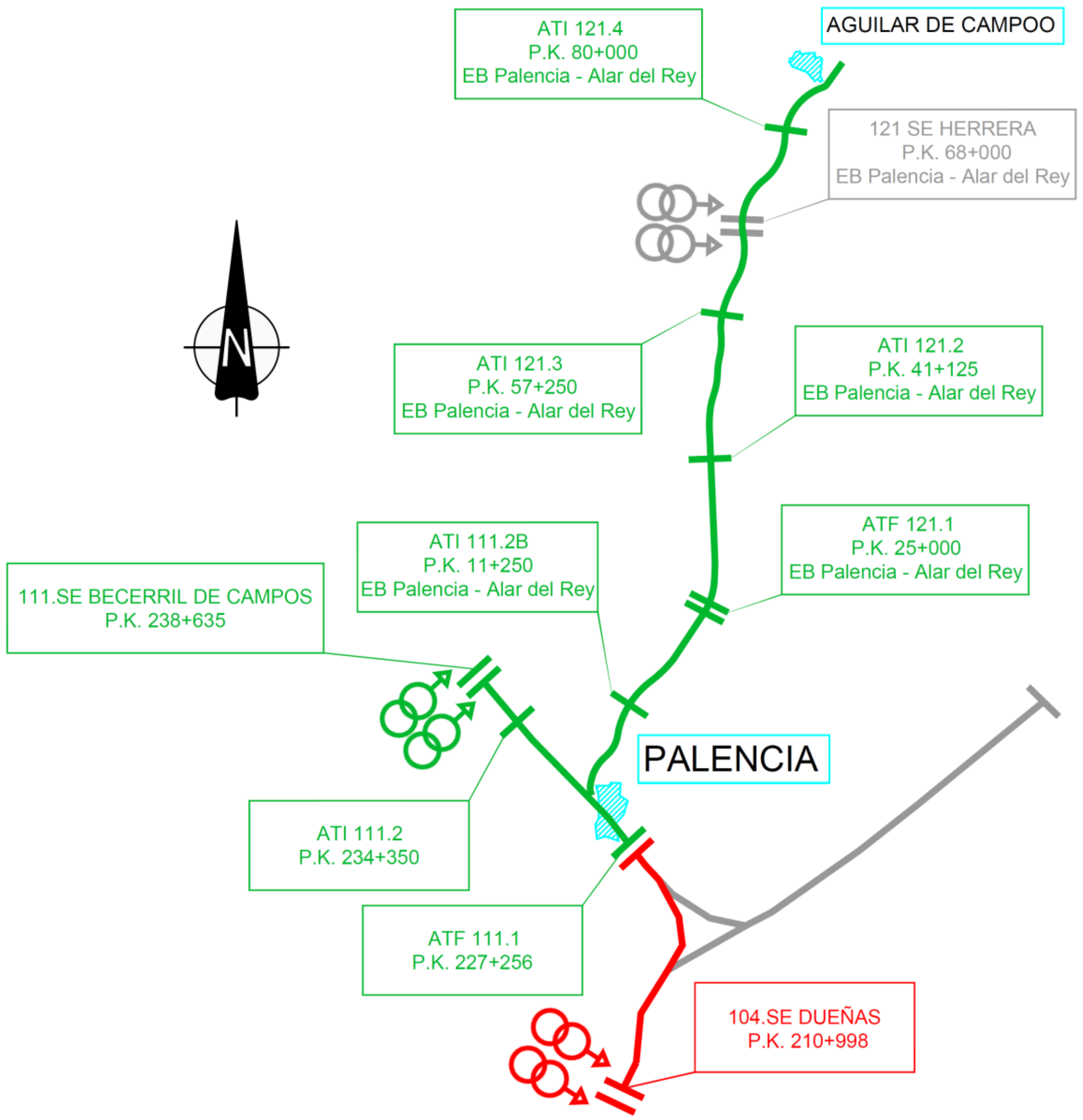
### *5.1.2. Funcionamiento degradado. Fallo de la SE de Herrera de Pisuerga*

Se estudia en este caso la posibilidad de que la subestación de Herrera de Pisuerga pudiera quedar fuera de servicio por algún motivo, situación en la que el trayecto tendría que alimentarse desde la subestación de Becerril de Campos.

En este caso, se daría continuidad al área de alimentación de Becerril de Campos hasta el final de la línea, a través de las barras del ATF 121.1, con lo que el esquema de alimentación quedaría como se muestra en la gráfica de la página siguiente.

No se ha considerado el fallo de centro de autotransformación alguno, así que las restantes instalaciones seguirían funcionando. No obstante, el centro de autotransformación final ATF 121.1 pasaría a trabajar como ATI, con solo uno de sus dos autotransformadores en funcionamiento.

Tampoco se ha considerado reducción alguna en el tráfico circulante, así que las circulaciones serían exactamente las mismas que en el caso de funcionamiento normal.

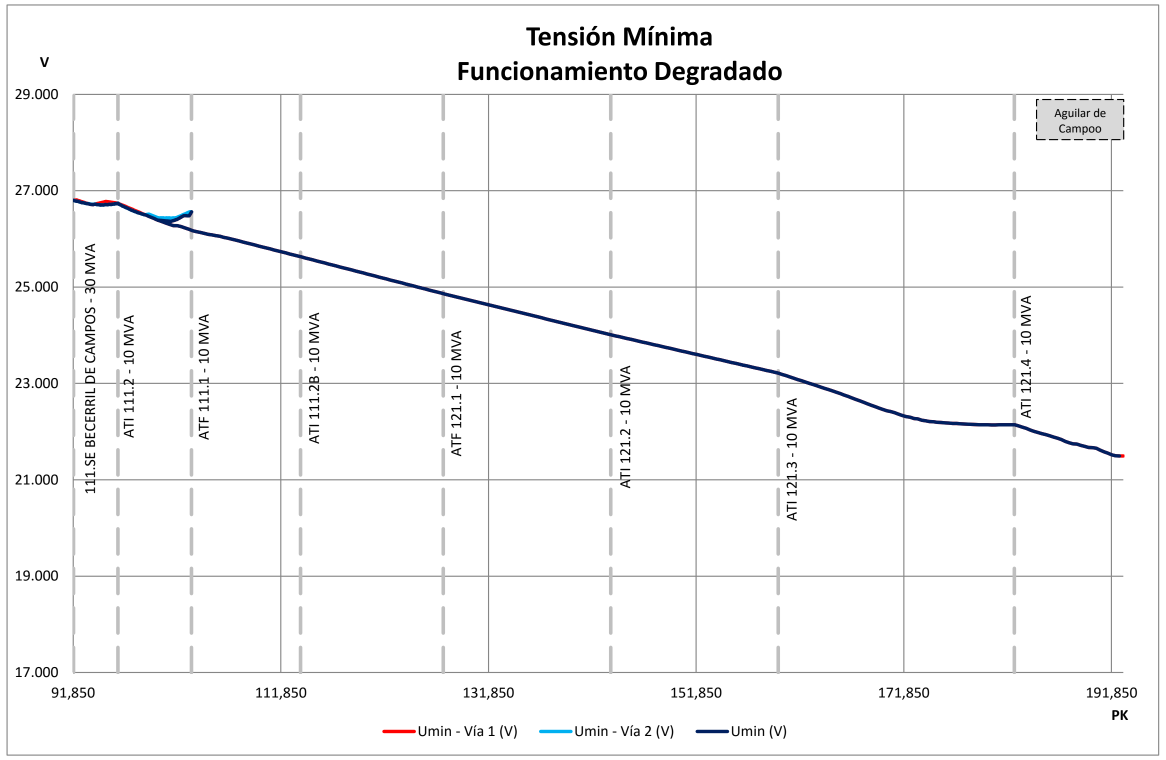



## 5.1.2.1. Tensión en catenaria

El gráfico de la página siguiente muestra los valores mínimos de tensión en catenaria a lo largo del trayecto entre Becerril de Campos y Aguilar de Campoo con las circulaciones estudiadas.

De acuerdo al mismo, la mínima tensión instantánea en catenaria se da en su extremo y es de 21,494 kV.

Esto supone que, como la tensión en catenaria no cae por debajo de 19 kV, las unidades consideradas pueden completar el trayecto entre Becerril de Campos y Aguilar de Campoo en la más desfavorable de las situaciones que se podrían esperar. Sin embargo, para confirmar que además pueden hacerlo sin perder capacidad de tracción debe estudiarse, en el punto siguiente, la tensión media útil en pantógrafo.



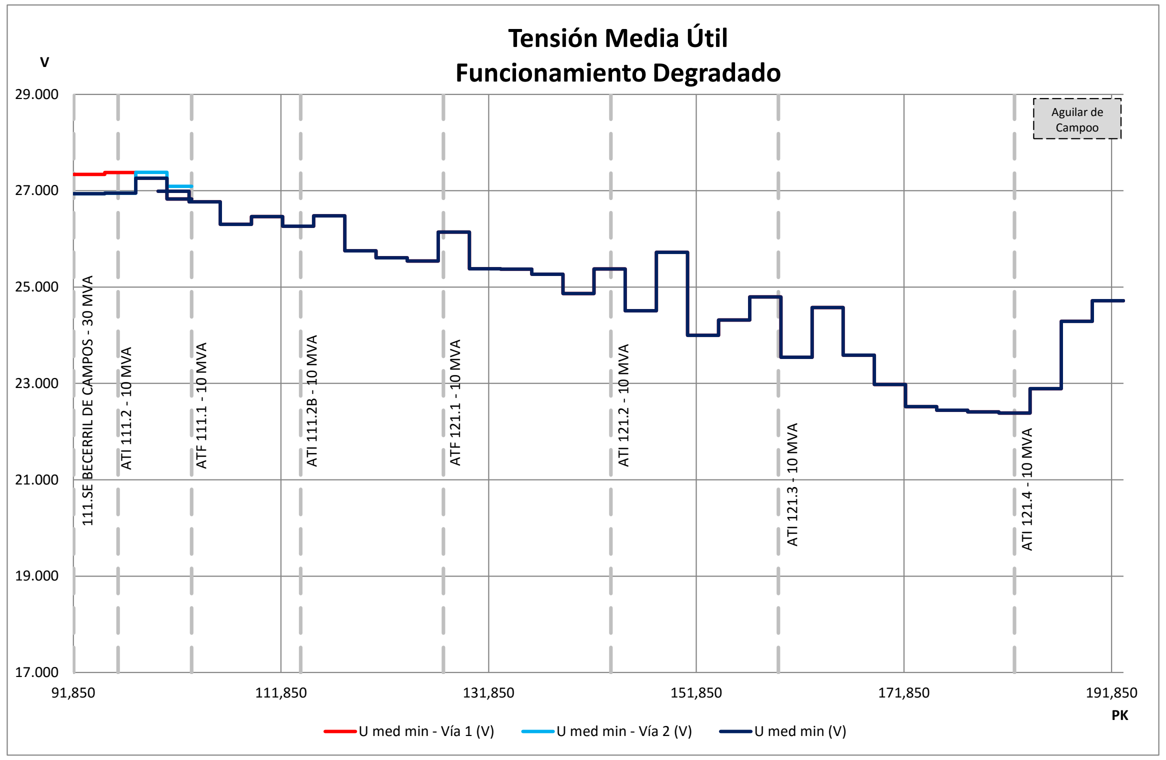

## 5.1.2.2. Tensión media útil

Los valores de tensión media útil en pantógrafo alcanzados para el caso de que la subestación de tracción de Herrera de Pisuerga quede fuera de servicio se muestran en el gráfico de la página siguiente.

De acuerdo al mismo, el valor mínimo alcanzado es de 22,385 kV. Este valor es inferior al mínimo exigible por normativa de 22,5 kV de tensión media útil en pantógrafo, lo que supone que, en principio, las unidades circulantes no serían capaces de completar el trayecto sin perder capacidad de tracción.

No obstante, dado que esta tensión reducida se mantendría únicamente el tiempo que la unidad circulante estuviera demandando potencia, es decir de forma puntual, que esta pérdida de capacidad de tracción sólo supondría una ligera disminución de velocidad, que como mucho incrementaría ligeramente la duración del trayecto y que esta situación se da en una condición degradada, no se considera necesario modificar el perfil eléctrico propuesto.

Además, debe considerarse que unidades de menor potencia, probablemente, afrontarán caídas de tensión menores y por tanto podrán completar el trayecto sin pérdida de capacidad de tracción, lo que supone que podrán cumplir su horario sin problema.

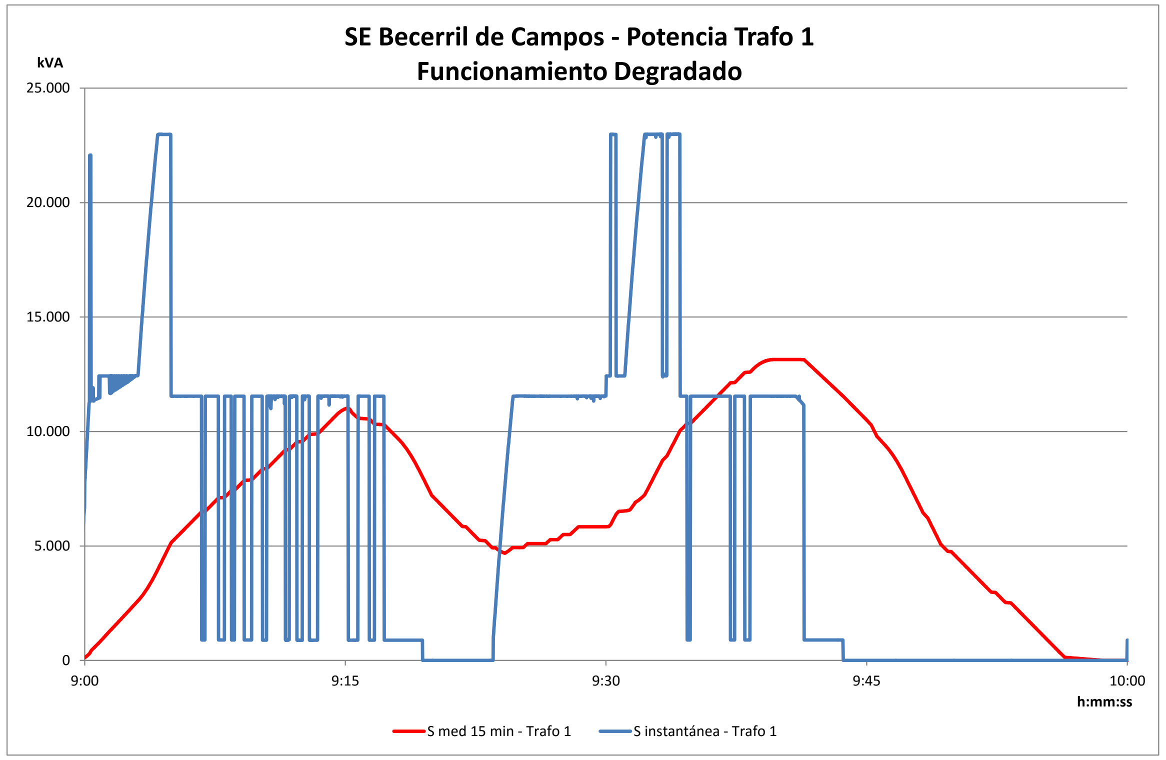



#### 5.1.2.3. Potencia demandada

La tabla a continuación presenta las demandas de potencia soportadas por el grupo 1 de la Subestación de Becerril de Campos, así como por los diferentes centros de autotransformación del trazado. La gráfica de la página siguiente la potencia integrada a 15 minutos demandada del transformador de tracción nº 1 de la subestación de Becerril de Campos

Como puede verse en las mismas, ni la demanda instantánea ni la integrada a 15 minutos, que es la realmente representativa, superan la potencia instalada. Por tanto, se considera que es suficiente la instalación de grupos de 30 MVA.

| | | POT MEDIA 15 MIN (kVA) | POTENCIA INSTALADA (kVA) |
|---|---|---|---|
| **Becerril de Campos 111.SE** | Trafo 1 | 13.143 | 30.000 |
| **ATI 111.2** | - | 5.619 | 10.000 |
| **ATF 111.1** | - | 5.757 | 10.000 |
| **ATI 111.2B** | - | 2.922 | 10.000 |
| **ATF 121.1** | - | 1.843 | 10.000 |
| **ATI 121.2** | - | 1.629 | 10.000 |
| **ATI 121.3** | - | 1.775 | 10.000 |
| **ATI 121.4** | - | 3.026 | 10.000 |

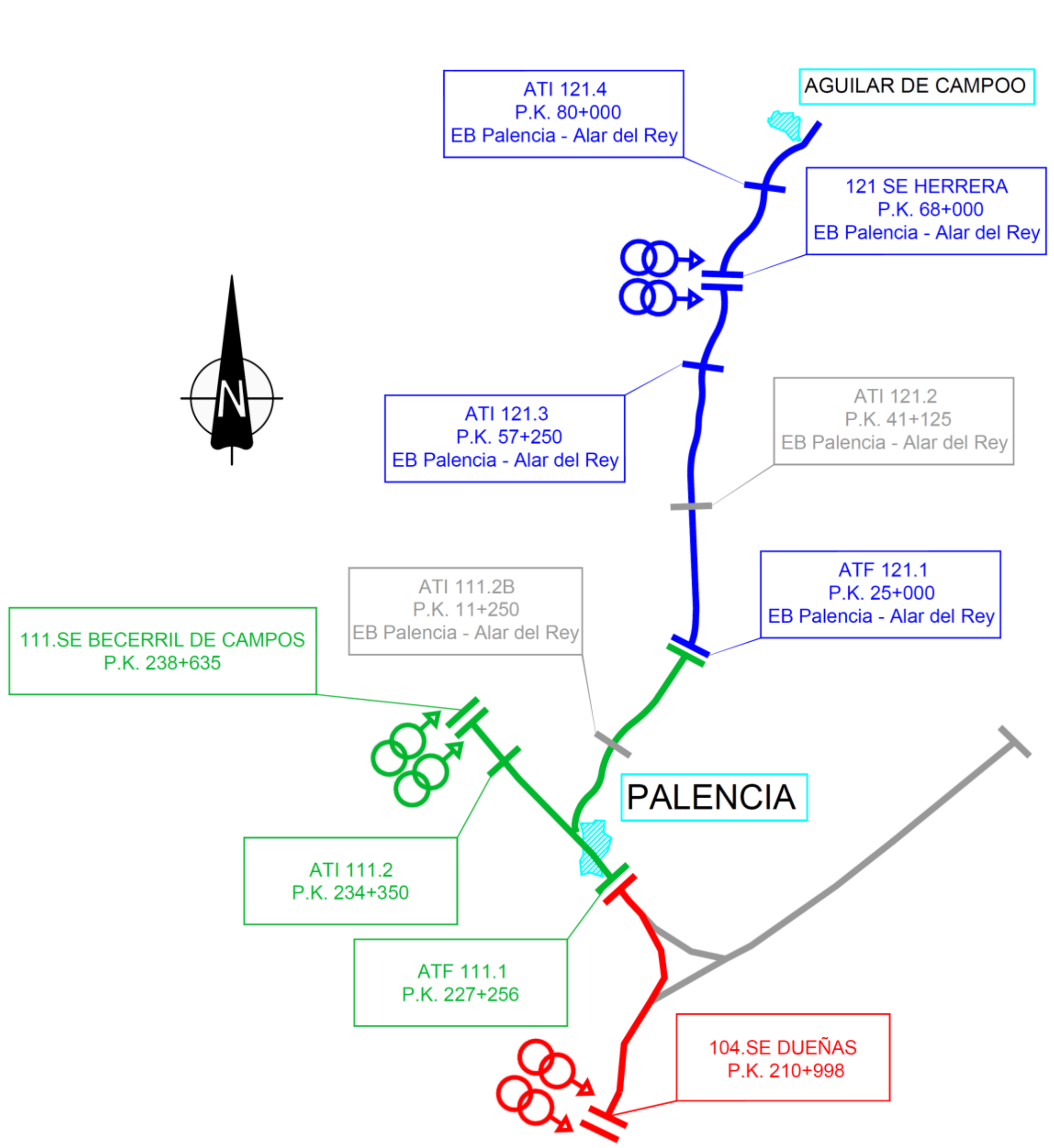



## 5.2. ESCENARIO ALTENATIVO

Se estudia en este caso el esquema de alimentación alternativo, desarrollado a partir del propuesto para la alimentación y consistente en reducir el número de centros de autotransformación a lo largo de la línea.

En concreto, se considera en este escenario que no existen, o están fuera de servicio, los centros de autotransformación intermedios ATI 111.2B y ATI 121.2, de modo que el esquema de electrificación queda tal como puede verse en la gráfica de la página siguiente.

Como ya se ha comentado, si bien este esquema no es tan favorables como el estudiado en los apartados anteriores en lo que a distribución de tensiones se refiere, si se considera que puede ser viable y además, fundamentalmente, permite estudiar el comportamiento del sistema ante la falta de parte de sus componentes, lo que, en cierta forma, valida los resultados obtenidos para aquel escenario, pues garantiza que la alimentación a la línea es factible incluso en situaciones de fallo múltiple.



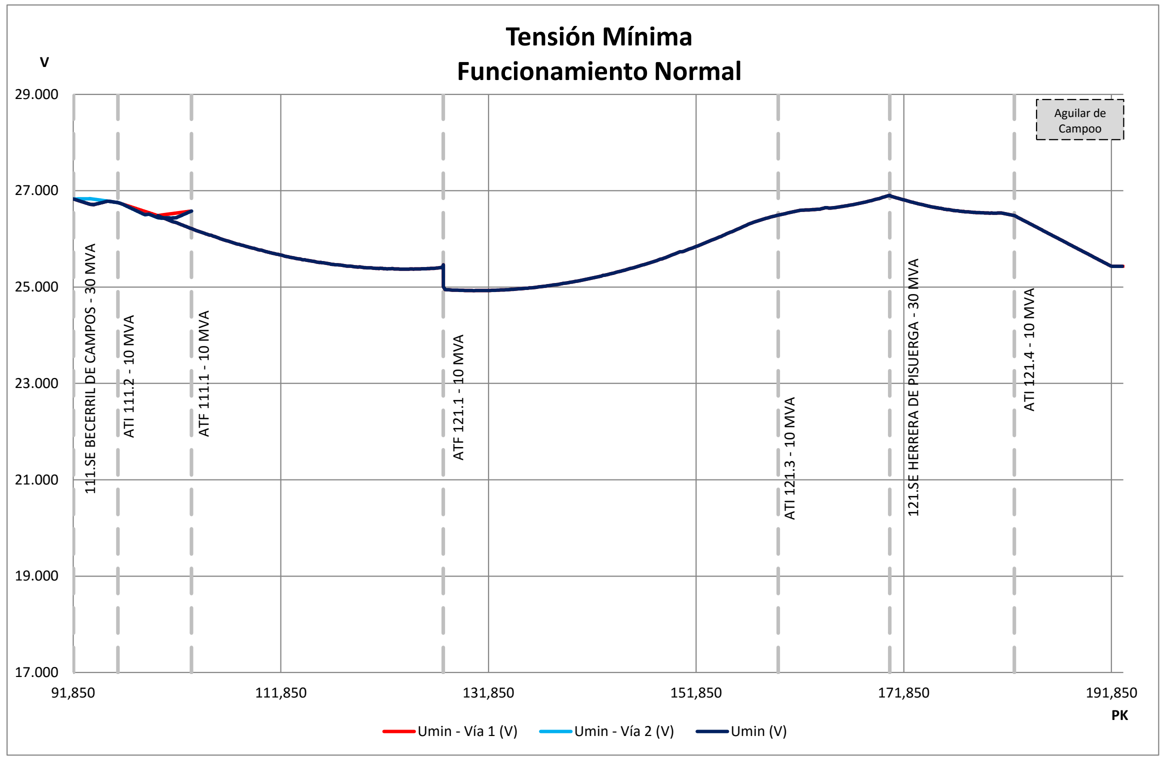

### 5.2.1. *Funcionamiento normal*

En primer lugar se muestran los resultados obtenidos para la situación en la que las dos subestaciones consideradas están en servicio. Es decir, la línea se alimenta desde las subestaciones de Becerril de Campos y Herrera de Pisuerga

#### 5.2.1.1. Tensión en catenaria

El gráfico de la siguiente columna muestra los valores mínimos de tensión en catenaria a lo largo del trayecto entre Becerril de Campos y Aguilar de Campoo con las circulaciones estudiadas.

De acuerdo al mismo, la mínima tensión instantánea en catenaria se da en el entorno del ATF 121.1, que supone el límite entre el área eléctrica de la Subestación de Becerril y la de Herrera de Pisuerga, y tiene un valor de 24,926 kV.




Esto supone que, como la tensión en catenaria no cae por debajo de 19 kV, las unidades consideradas pueden completar el trayecto entre Becerril de Campos y Aguilar de Campoo. Sin embargo, para confirmar que además pueden hacerlo sin perder capacidad de tracción debe estudiarse, en el punto siguiente, la tensión media útil en pantógrafo.

Además, como puede apreciarse al comparar este gráfico con el correspondiente del escenario propuesto, la ausencia de los centros ATI 111.2B y ATI 121.2 influye de forma apreciable en la distribución de tensiones entorno a su punto de ubicación, pero tiene una influencia limitada sobre el valor de tensiones mínimo, estando la diferencia en el orden de las decenas de voltios.

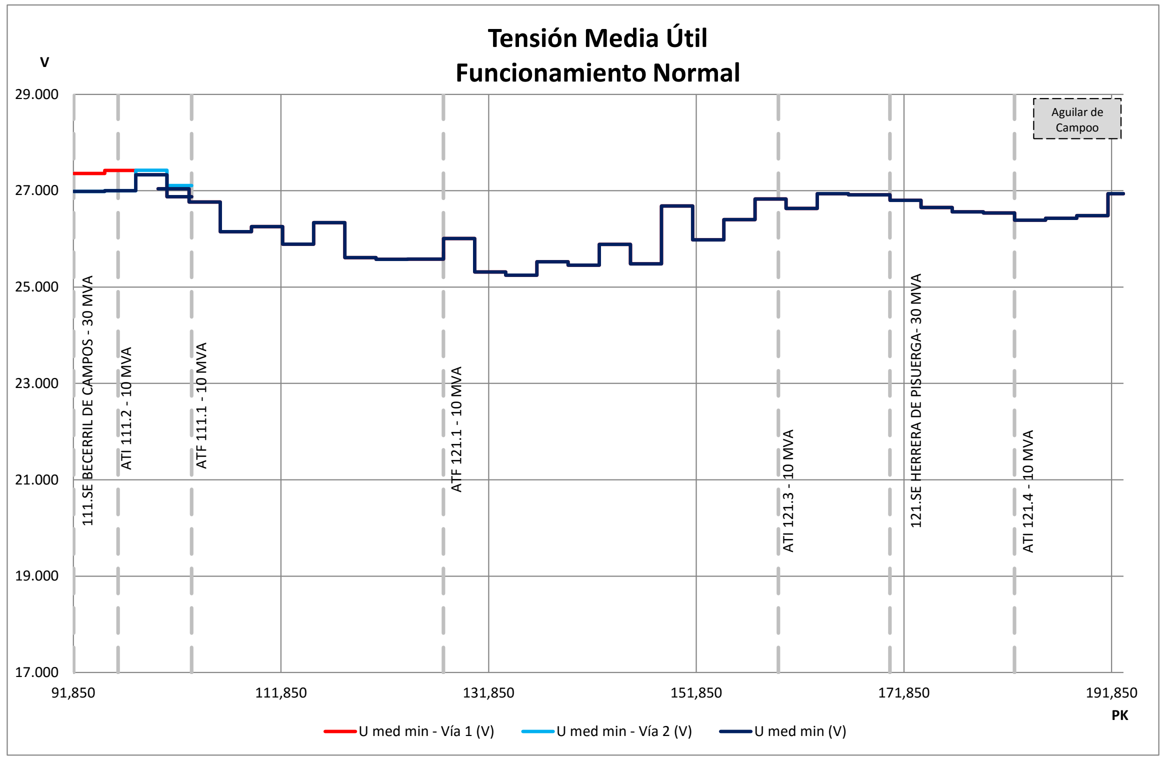
No obstante, debe aclararse que esto se debe a que, con la densidad de circulaciones considerada, el número de unidades de tracción presentes en la línea simultáneamente se reduce a una única unidad, y que con más unidades en la línea de forma simultánea la situación sería diferente.

#### 5.2.1.2. Tensión media útil

La gráfica recogida en la página siguiente muestra de forma detallada los resultados obtenidos para la tensión media útil en pantógrafo entre Becerril de Campos y Aguilar de Campoo.

Como puede observarse en la misma, los valores de tensión media útil se mantienen en todo momento muy por encima de los 22,5 kV mínimos necesarios para que las unidades circulantes mantengan su capacidad de tracción. En concreto, el mínimo alcanzado es de 25,247 kV.

Igualmente, como en el caso de la tensión mínima, puede apreciarse al comparar este gráfico con el del escenario propuesto, que la influencia de los centros de autotransformación se ciñe, con las circulaciones consideraras, al entorno de su punto de ubicación y que, en lo referente al valor mínimo alcanzado, la diferencia está en el orden de las decenas de voltios.




### 5.2.1.3. Potencia demandada

La siguiente tabla resume las potencias medias máximas demandadas de los transformadores de tracción de las subestaciones y los autotransformadores de los centros de autotransformación.

| | | POT MEDIA 15 MIN (kVA) | POTENCIA INSTALADA (kVA) |
|---|---|---|---|
| **Becerril de Campos 111.SE** | Trafo 1 | 8.305 | 30.000 |
| **ATI 111.2** | - | 3.659 | 10.000 |
| **ATF 111.1** | - | 3.586 | 10.000 |
| **ATF 121.1** | Autotrafo 1 | 2.763 | 10.000 |
| | Autotrafo 2 | 1.765 | 10.000 |
| **ATI 121.3** | - | 2.355 | 10.000 |
| **Herrera de Pisuerga 121.SE** | Trafo 1 | 5.241 | 30.000 |
| | Trafo 2 | 4.425 | 30.000 |
| **ATI 121.4** | - | 3.155 | 10.000 |

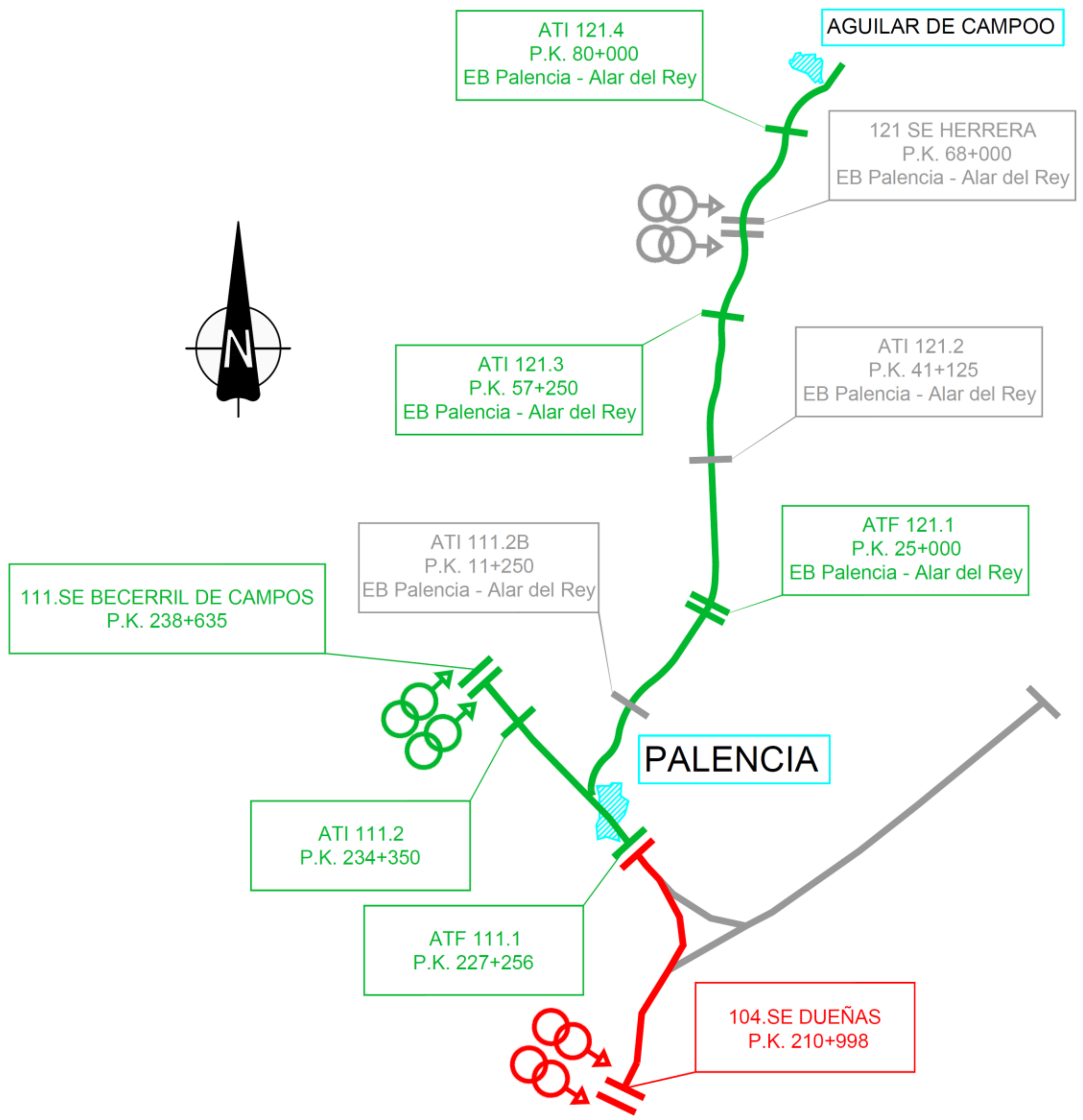
Como puede verse en la misma, la ausencia de los centros ATI 111.2B y ATI 121.2 no influye en la potencia demandada de las subestaciones, que es la misma en este escenario que en el escenario propuesto. Sí tiene influencia, no obstante, en la demanda soportada por los restantes centros de autotransformación, que tienen que suplir la falta de estos centros.

### *5.2.2. Funcionamiento degradado. Fallo de la SE de Herrera de Pisuerga*

Se estudia en este caso la posibilidad de que la subestación de Herrera de Pisuerga pudiera quedar fuera de servicio por algún motivo, situación en la que el trayecto tendría que alimentarse desde la subestación de Becerril de Campos.

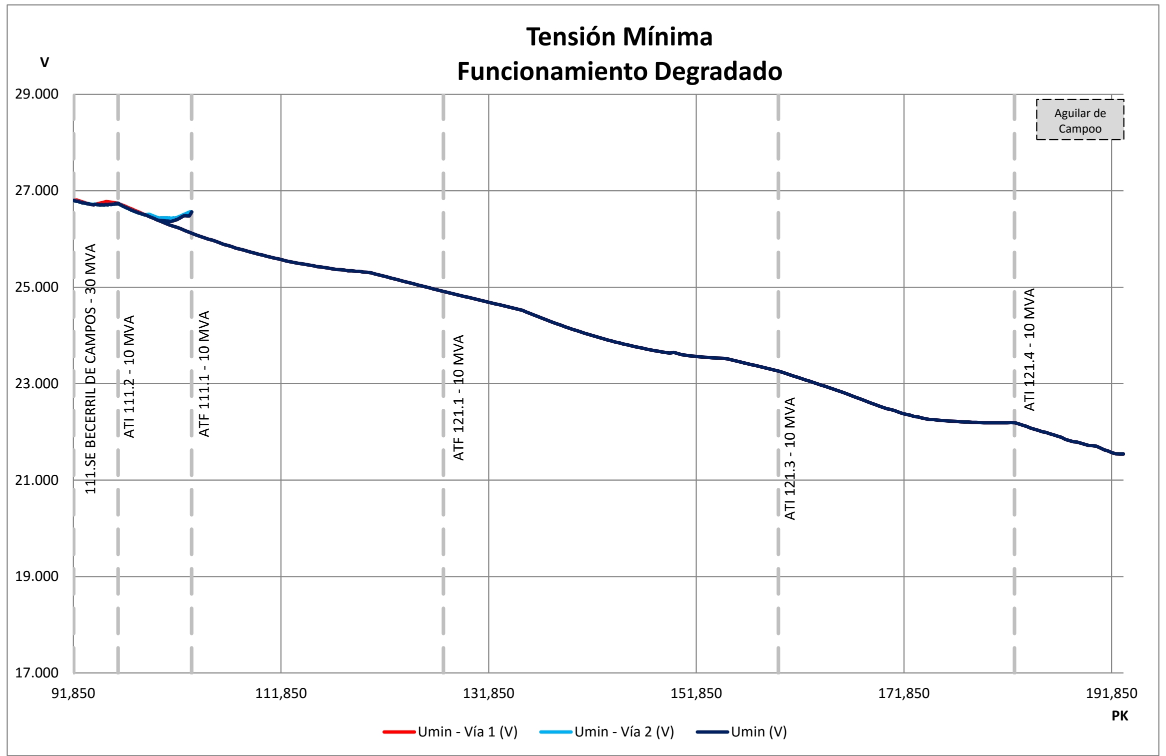
En este caso, se daría continuidad al área de alimentación de Becerril de Campos hasta el final de la línea, a través de las barras del ATF 121.1, con lo que el mismo pasaría a trabajar como ATI, con solo uno de sus dos autotransformadores en funcionamiento, y el esquema de alimentación quedaría como se muestra en la gráfica de más abajo.

No se ha considerado reducción alguna en el tráfico circulante, así que las circulaciones son exactamente las mismas que en el caso de funcionamiento normal.



#### 5.2.2.1. Tensión en catenaria

El gráfico a continuación muestra los valores mínimos de tensión en catenaria a lo largo del trayecto entre Becerril de Campos y Aguilar de Campoo con las circulaciones estudiadas. De acuerdo al mismo, la mínima tensión instantánea en catenaria se da en su extremo y es de 21,494 kV.



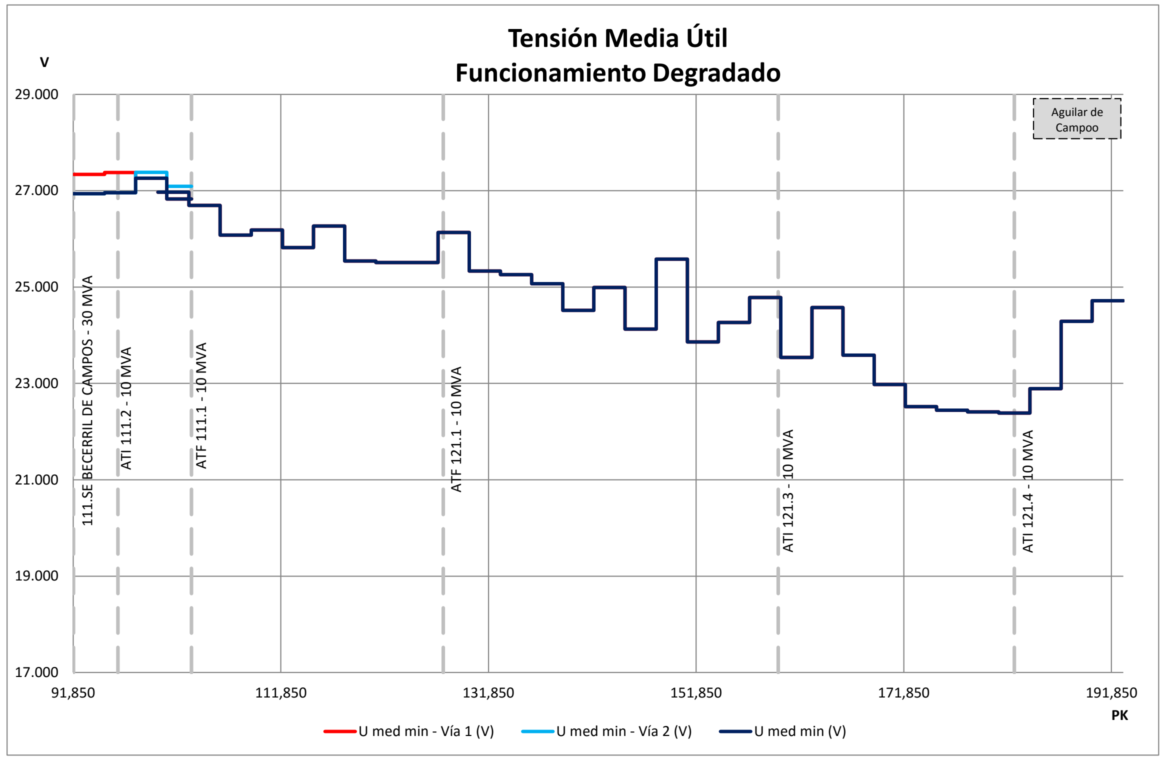

Esto supone que, como la tensión en catenaria no cae por debajo de 19 kV, las unidades consideradas pueden completar el trayecto entre Becerril de Campos y Aguilar de Campoo en la más desfavorable de las situaciones que se podrían esperar. Sin embargo, para confirmar que además pueden hacerlo sin perder capacidad de tracción debe estudiarse, en el punto siguiente, la tensión media útil en pantógrafo.

Además, de nuevo se observa que la ausencia de los centros ATI 111.2B y ATI 121.2 tiene una influencia apreciable en la distribución de tensiones entorno a su ubicación, pero apenas afecta a los valores mínimos de tensión, que en este caso incluso son idénticos a los del escenario que se propone emplear para la alimentación de la línea.

#### 5.2.2.2. Tensión media útil

Los valores de tensión media útil en pantógrafo alcanzados para el caso de que la subestación de tracción de Herrera de Pisuerga quede fuera de servicio se muestran en el gráfico de la página siguiente.

De acuerdo al mismo, el valor mínimo alcanzado es de 22,385 kV. Este valor es inferior al mínimo exigible por normativa de 22,5 kV de tensión media útil en pantógrafo, lo que supone que, en principio, las unidades circulantes no serían capaces de completar el trayecto sin perder capacidad de tracción.




No obstante, dado que esta tensión reducida se mantendría únicamente el tiempo que la unidad circulante estuviera demandando potencia, es decir de forma puntual, que esta pérdida de capacidad de tracción sólo supondría una ligera disminución de velocidad, que como mucho incrementaría ligeramente la duración del trayecto y que esta situación se da en una condición degradada, no se considera necesario modificar el perfil eléctrico propuesto.

Además, debe considerarse que unidades de menor potencia, probablemente, afrontarán caídas de tensión menores y por tanto podrán completar el trayecto sin pérdida de capacidad de tracción, lo que supone que podrán cumplir su horario sin problema.

En lo que a la influencia de los centros de autotransformación que se considera que no existen o están fuera de servicio se refiere, de nuevo se puede decir que esta se reduce al entorno de su punto de ubicación, no siendo apreciable en lo que a los valores mínimos atañe.

No obstante, debe remarcarse una vez más, que este hecho es función de la densidad de circulaciones considerada, que supone que el número de unidades de tracción presentes en la línea de forma simultánea se reduzca a una única unidad, y que no puede garantizarse que esta situación permanezca en el caso de que la densidad de las circulaciones aumente y llegue a haber más de una única circulación en la línea de forma simultánea.

#### 5.2.2.3. Potencia demandada

La tabla de la página siguiente presenta las demandas de potencia soportadas por el grupo 1 de la Subestación de Becerril de Campos, así como por los diferentes centros de autotransformación del trazado.

| | | POT MEDIA 15 MIN (kVA) | POTENCIA INSTALADA (kVA) |
|---|---|---|---|
| **Becerril de Campos 111.SE** | Trafo 1 | 13.144 | 30.000 |
| **ATI 111.2** | - | 5.622 | 10.000 |
| **ATF 111.1** | - | 5.759 | 10.000 |
| **ATF 121.1** | - | 3.966 | 10.000 |
| **ATI 121.3** | - | 2.567 | 10.000 |
| **ATI 121.4** | - | 3.077 | 10.000 |

Como puede verse en la misma, la ausencia de los centros ATI 111.2B y ATI 121.2 no influye en la potencia demandada de las subestaciones, que es la misma para el caso degradado de este escenario que para el caso degradado del escenario propuesto. Sí tiene influencia, no obstante, en la demanda soportada por los restantes centros de autotransformación, que tienen que trabajar más para suplir la falta de estos centros.

## 5.3. MITIGACIÓN DE LAS POSIBLES AFECCIONES A LA ELECTRIFICACIÓN CONVENCIONAL

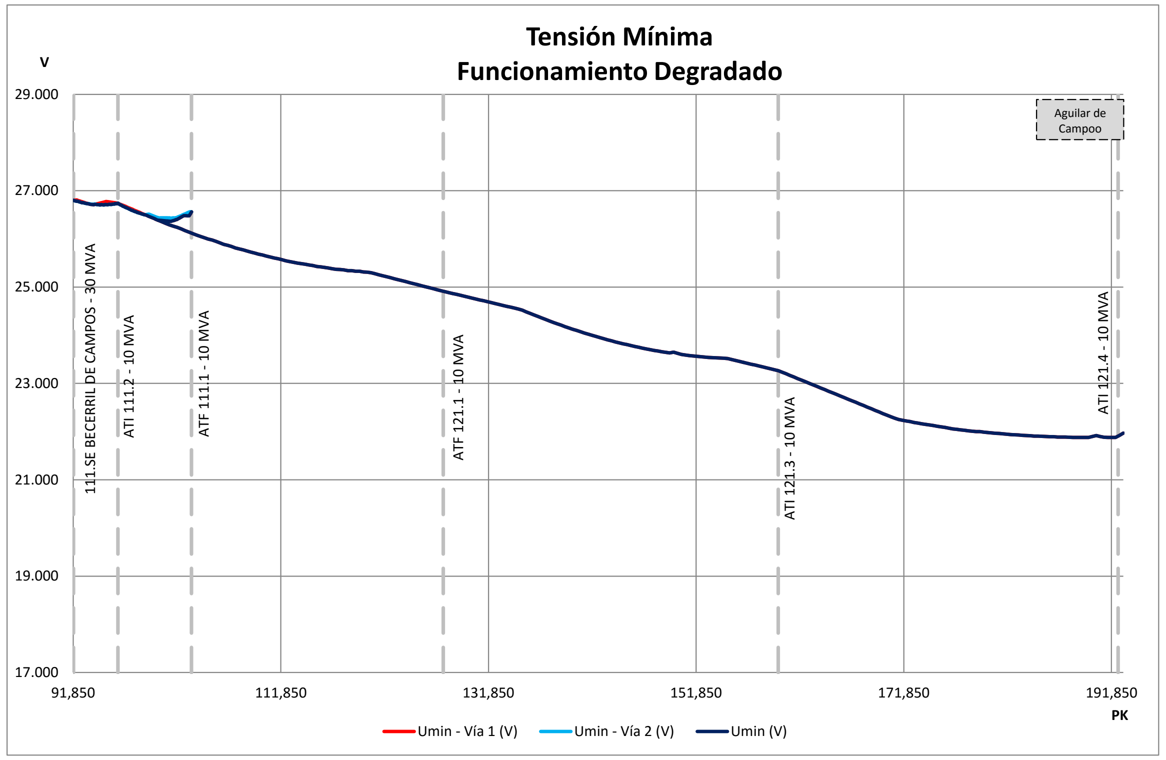
Para completar este estudio, se analiza en este apartado, conforme a lo explicado en el cuerpo de este documento, si resulta más conveniente ubicar el ATI 121.4 al extremo de la línea o prever un ATI adicional, para evitar posibles afecciones a la electrificación convencional.

Dicho análisis incluye el estudio de la tensión en catenaria y la tensión media útil en pantógrafo para el caso de que el ATI 121.4 se ubicara al final de la línea.

### *5.3.1. Tensión en catenaria*

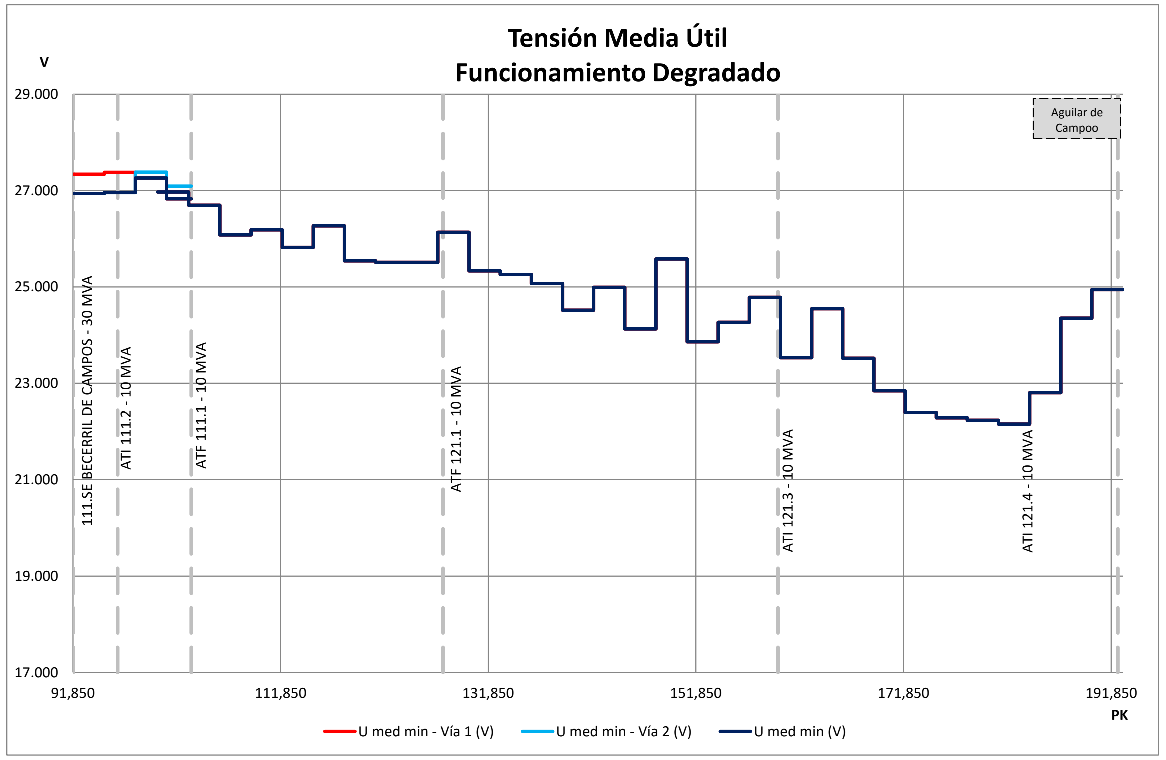
El gráfico de la siguiente columna muestra los valores mínimos de tensión en catenaria a lo largo del trayecto entre Becerril de Campos y Aguilar de Campoo con las circulaciones estudiadas. De acuerdo al mismo, la mínima tensión instantánea en catenaria se da prácticamente en su extremo y es de 21,877 kV.

Esto supone una mejora respecto al caso de que el ATI se situara en el PK 80+000. No obstante, debe estudiarse la tensión media útil en pantógrafo antes de ofrecer una conclusión.




### *5.3.2. Tensión media útil*

La tensión media útil en pantógrafo, para este caso, a lo largo del trayecto hasta Aguilar de Campoo y con las circulaciones consideradas se muestra en la gráfica siguiente.



De acuerdo con ésta, el mínimo de tensión media útil se da en el mismo tramo que en el resto de situaciones. Sin embargo, en este, el valor mínimo obtenido es de 22,153 kV, lo que supone una apreciable diferencia frente a las situaciones anteriormente consideradas.

En consecuencia, la conclusión de este análisis solo puede ser que, para las alternativas de trazado que alcanzan Aguilar de Campoo, en caso de que sea necesaria la ubicación de un centro de autotransformación al final del trazado, para evitar posibles afecciones a la electrificación convencional, debe considerarse un centro adicional, que sería el ATI 121.5, y mantener el centro ATI 121.4 en la posición que prevé este estudio.

# 6. CONCLUSIONES

En vista de lo expuesto a lo largo de este estudio de dimensionamiento, puede concluirse que es viable alimentar la electrificación de la nueva Línea de Alta Velocidad Palencia – Alar del Rey mediante el escenario de alimentación propuesto en el apartado 5.1 de este documento, ya que, para la condición de funcionamiento normal de la línea, los resultados de tensión en catenaria, tensión media útil en pantógrafo y potencia demandada, obtenidos de las simulaciones realizadas, son conformes a la normativa y acordes a la potencia instalada en cada subestación y/o centro de autotransformación considerado.

Cabe mencionar, no obstante, que en situación degradada, al no considerarse en la redacción de este estudio subestación colateral alguna a la de Herrera de Pisuerga al norte de la misma, los valores de tensión media útil en pantógrafo obtenidos no son conformes a la normativa, ya que el mínimo alcanzado es inferior a 22,5 kV.

Sin embargo, no se considera esto una condición limitante, pues esa tensión reducida solo supondría una pérdida de capacidad de tracción puntual que, como mucho, acarrearía una ligera disminución de velocidad, que únicamente incrementaría ligeramente la duración del trayecto. Por no mencionar que, al ser el valor mínimo alcanzado (22,385 kV) solo ligeramente inferior a 22,5 kV, puede afirmarse que para unidades de menor potencia el valor resultante no rebasaría el límite citado.

Igualmente, puede concluirse de lo expuesto en este estudio, que es viable alimentar la electrificación de la nueva Línea de Alta Velocidad Palencia – Alar del Rey mediante el escenario de alimentación alternativo propuesto en el apartado 5.2 de este documento, ya que los resultados obtenidos para el mismo son análogos a los obtenidos para el escenario propuesto.

No obstante, debe remarcarse que esto se debe a que la densidad de circulaciones considerada supone que el número de unidades de tracción presentes en la línea de forma simultánea sea de tan solo una unidad, y que no puede garantizarse que esta analogía en los resultados permanezca en el caso de que la densidad de las circulaciones aumente y llegue a haber más de una única circulación en la línea de forma simultánea.

Finalmente, en lo que a la ubicación de un centro de autotransformación en Aguilar de Campoo para evitar afecciones a la línea convencional se refiere, la conclusión de este estudio es que, en caso de que resulte necesario, el esquema deberá contar con un centro de autotransformación adicional que se denominaría ATI 121.5.